



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES.

MEDICIONES Y SIMULACIÓN DE ATENUACIONES
PRODUCIDAS POR EDIFICACIONES QUE AFECTAN A LA
BANDA DE RADIODIFUSIÓN EN FRECUENCIA MODULADA EN
LA CIUDAD DE RIOBAMBA.

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO ELECTRÓNICO EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES.

AUTOR: UQUILLAS TRUJILLO GABRIELA BELÉN
TUTOR: ING. WILLIAM CALVOPÍÑA

Riobamba – Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: **MEDICIONES Y SIMULACIÓN DE ATENUACIONES PRODUCIDAS POR EDIFICACIONES QUE AFECTAN A LA BANDA DE RADIODIFUSIÓN EN FRECUENCIA MODULADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA.**, de responsabilidad de la señorita Gabriela Belén Uquillas Trujillo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

DR. MIGUEL TASAMBAY Ph.D
DECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ING. FRANKILN MORENO
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERIA EN ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

ING. WILLIAM CALVOPÍÑA
DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN

ING. JORGE YUQUILEMA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Gabriela Belén Uquillas Trujillo declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación: **“MEDICIONES Y SIMULACIÓN DE ATENUACIONES PRODUCIDAS POR EDIFICACIONES QUE AFECTAN A LA BANDA DE RADIODIFUSIÓN EN FRECUENCIA MODULADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA.”**, que fue elaborado en su totalidad por mí, bajo la dirección del Ingeniero William Calvopiña, haciéndome totalmente responsable por las ideas, criterios, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

GABRIELA BELÉN UQUILLAS TRUJILLO

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por haberme brindado la oportunidad de gozar buena salud y cumplir mis metas, a mis padres porque su apoyo ha sido esencial durante este largo trayecto, a mi hermana por contagiarme de su alegría y en general, a toda mi familia por ser el motor principal de mi vida, por sus consejos y enseñanzas, porque cada experiencia a su lado ha formado mi carácter. ¡Este logro es nuestro!

Gabriela.

AGRADECIMIENTO

El desarrollo del presente trabajo de investigación lleva la inmensa gratitud a la Escuela Superior, a la Facultad de Informática y Electrónica, a mis maestros por sus enseñanzas a lo largo de la carrera, especialmente a mi tutor y amigo por compartir sus conocimientos. Por último, pero no menos importante, a mi amor, por haber estado en los buenos momentos y haber sido el apoyo idóneo en los malos.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	ii
RESPONSABILIDAD DE AUTOR	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1	Introducción	5
1.2	Radiodifusión en frecuencia modulada	5
1.2.1	<i>Conceptos básicos</i>	6
1.2.2	<i>Estación radioeléctrica</i>	7
1.2.3	<i>Espectro Electromagnético y Radioeléctrico</i>	8
1.2.4	<i>Bandas de radiodifusión</i>	8
1.2.5	<i>Banda comercial de emisión en FM</i>	10
1.3	Atenuaciones	10
1.3.1	<i>Atenuación básica de propagación en el espacio libre</i>	11
1.3.2	<i>Atenuación a través de un medio cualquiera</i>	11
1.3.3	<i>Atenuación por vegetación</i>	12
1.3.4	<i>Atenuación por gases y vapores atmosféricos</i>	13
1.3.5	<i>Atenuación por lluvia</i>	14
1.3.6	<i>Atenuación de transmisión.</i>	14
1.3.7	<i>Atenuación por penetración en construcciones.</i>	14
1.4	Propagación de ondas electromagnéticas	16
1.4.1	<i>Propiedades de propagación de los medios</i>	17

1.4.2	<i>Frentes de onda.</i>	17
1.4.3	<i>Frente de onda plana.</i>	17
1.4.4	<i>Frente de onda de una fuente puntual.</i>	18
1.4.5	<i>Frente de onda esférico.</i>	18
1.4.6	<i>Ley del cuadrado inverso.</i>	19
1.5	Modelos de propagación electromagnética	20
1.5.1	<i>Características de propagación.</i>	20
1.5.2	Influencia del medio de transmisión en la propagación.	21
1.5.2.1	<i>Reflexión</i>	21
1.5.2.2	<i>Difracción</i>	22
1.5.2.3	<i>Refracción</i>	23
1.5.2.4	<i>Absorción</i>	24
1.5.3	<i>Modelo de propagación en el espacio libre.</i>	24
1.5.4	<i>Modelo de propagación de tierra plana</i>	25
1.5.5	<i>Modelos electromagnéticos</i>	26
1.5.6	<i>Modelos estadísticos</i>	26
1.5.7	<i>Modelos empíricos de trayectoria directa</i>	26
1.5.8	<i>Modelos empíricos multitrayectoria</i>	26
1.5.9	<i>Modelos de rayo óptico</i>	27
1.5.10	<i>Modelos de particiones en el mismo piso</i>	27
1.6	Parámetros de radiodifusión sonora en frecuencia modulada	27
1.6.1	<i>Parámetros de emisión.</i>	28
1.6.1.1	<i>Clase de emisión</i>	28
1.6.1.2	<i>Ancho de banda necesario y ocupado</i>	28
1.6.1.3	<i>Tolerancia de frecuencia de una emisión</i>	28
1.6.1.4	<i>Emisiones no deseadas</i>	28
1.6.1.5	<i>Potencia en la cresta de la envolvente</i>	29
1.6.1.6	<i>Potencia media de la onda modulada</i>	29
1.6.1.7	<i>Potencia de portadora</i>	29
1.6.1.8	<i>Polarización de una onda</i>	29
1.6.2	<i>Denominación de las emisiones.</i>	29
1.6.3	<i>Parámetros de recepción.</i>	30
1.6.4	<i>Atribución de una banda de frecuencia</i>	31
1.6.5	<i>Regulación del uso del espectro radioeléctrico.</i>	31
1.6.6	<i>Gestión del espectro radioeléctrico.</i>	33
1.7	Radioenlace terrestre	34

1.7.1	<i>Presupuesto de potencia de enlace.</i>	34
1.7.2	<i>Pérdida en el cable.</i>	35
1.7.3	<i>Pérdida en los conectores.</i>	36
1.7.4	<i>Línea de vista y multitrayectoria.</i>	37
1.8	<i>Antenas.</i>	37
1.8.1	<i>Antena isotrópica</i>	38
1.8.2	<i>Características de las antenas</i>	38
1.8.2.1	<i>Ganancia de la antena</i>	38
1.8.2.2	<i>Directividad</i>	39
1.8.2.3	<i>Patrón de radiación</i>	40
1.8.2.4	<i>Polarización</i>	41
1.8.2.5	<i>Ancho de banda</i>	41
1.8.2.6	<i>Potencia efectiva radiada.</i>	42
1.8.3	<i>Antenas para la radiodifusión</i>	42
1.8.3.1	<i>Antena dipolo</i>	43
1.8.3.2	<i>Antena colineal</i>	44
1.8.3.3	<i>Dipolo de alta potencia</i>	44
1.8.3.4	<i>Antena Yagi-Uda</i>	45
1.8.3.5	<i>Antenas de polarización circular</i>	46
1.8.4	<i>Región de Fraunhofer (Campo lejano)</i>	47
1.8.5	<i>Región de Fresnel</i>	48
1.8.6	<i>Sensibilidad del receptor</i>	50

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1	<i>Introducción</i>	51
2.2	<i>Mediciones.</i>	51
2.2.1	<i>Protocolo de medición de señales de radio.</i>	52
2.2.2	<i>Medición y tabulación de la señal recibida.</i>	55
2.2.2.1	<i>Medición uno.</i>	61
2.2.2.2	<i>Medición dos.</i>	62
2.2.2.3	<i>Medición tres.</i>	63
2.2.2.4	<i>Medición cuatro.</i>	64
2.2.2.5	<i>Medición cinco.</i>	65
2.2.2.6	<i>Medición seis.</i>	66
2.2.2.7	<i>Medición siete.</i>	67

2.2.2.8	<i>Medición ocho.</i>	68
2.2.2.9	<i>Medición nueve.</i>	69
2.2.2.10	<i>Medición diez.</i>	70
2.2.2.11	<i>Medición once.</i>	71
2.3	Modelamiento de atenuaciones.	72
2.3.1	<i>Modelamiento de atenuaciones del material bloque.</i>	72
2.3.2	<i>Modelamiento de atenuaciones en construcción mixta.</i>	74
2.3.3	<i>Modelamiento de atenuaciones del material vidrio.</i>	75
2.3.4	<i>Modelamiento de atenuaciones del material ladrillo.</i>	76
2.3.5	<i>Modelamiento de atenuaciones de subterráneo.</i>	78
2.4	Simulación de enlaces de radio.	79

CAPÍTULO III

3.MARCO DE RESULTADOS

3.1	Introducción	83
3.2	Relación señal a ruido.	83
3.3	Comparación de mediciones outdoor e indoor.	88
3.4	Comparación de mediciones tomadas en un mismo material.	93
3.5	Simulación de pérdidas de inserción	94

	CONCLUSIONES.	104
--	----------------------	-----

	RECOMENDACIONES.	106
--	-------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Modulación en frecuencia	7
Figura 2-1	Estaciones Radioeléctricas	7
Figura 3-1	Espectro radioeléctrico	8
Figura 4-1	Atenuación específica en zonas boscosas	13
Figura 5-1	Frente de onda plana.	18
Figura 6-1	Frente de onda producido por una fuente puntual.	18
Figura 7-1	Ley del cuadrado inverso.	19
Figura 8-1	Reflexión especular y difusa	22
Figura 9-1	Difracción de ondas de radio.....	23
Figura 10-1	Fenómeno de refracción	23
Figura 11-1	Absorción de ondas de radio.	24
Figura 12-1	Modelo de tierra plana.....	25
Figura 13-1	Regulación Jerárquica del espectro radioeléctrico	33
Figura 14-1	Trayectoria de una onda de radio entre transmisor y receptor.	35
Figura 15-1	Elementos del presupuesto de potencia de enlace.....	35
Figura 16-1	Patrón de radiación de antena isotrópica y antena directiva.....	38
Figura 17-1	Directividad según el tipo de antena	40
Figura 18-1	Diagrama de radiación de una antena.....	40
Figura 19-1	Tipos de polarización de una antena	41
Figura 20-1	Antena dipolo.	43
Figura 21-1	Antena colineal.....	44
Figura 22-1	Dipolo de alta potencia.....	45
Figura 23-1	Antena Yagi-Uda.....	46
Figura 24-1	Región de Fraunhofer y Fresnel	48
Figura 25-1	Regiones de difracción	49
Figura 26-1	Zona de Fresnel	49
Figura 1-2	Analizador de espectro Anritsu y antena monopolo.....	53
Figura 2-2	Mediciones de la sub banda de 88 a 93 MHz.	55
Figura 3-2	Medición de potencia de 88 a 93 MHz.....	55
Figura 4-2	Medición de potencia de 93 a 98 MHz.....	56
Figura 5-2	Medición de potencia de 98 a 103 MHz.....	56
Figura 6-2	Medición de potencia de 103 a 108 MHz.....	57
Figura 7-2	Medición de potencia de la emisora 88.1 MHz.....	57

Figura 8-2	Medición de potencia de la emisora 91.3 MHz.....	58
Figura 9-2	Mediciones de potencia de la emisora 94.1 MHz.....	58
Figura 10-2	Mediciones de potencia de la emisora 97.7 MHz.....	59
Figura 11-2	Mediciones de potencia de la emisora 102.5 MHz.....	59
Figura 12-2	Mediciones de potencia de la emisora 105.3 MHz.....	60
Figura 13-2	Mediciones de potencia de la emisora 107.3 MHz.....	60
Figura 14-2	Interpolación de las atenuaciones por bloque.....	73
Figura 15-2	Interpolación de las atenuaciones por construcción mixta	74
Figura 16-2	Interpolación de las atenuaciones por vidrio.....	76
Figura 17-2	Interpolación de las atenuaciones por ladrillo	77
Figura 18-2	Interpolación de las atenuaciones en subterráneo	78
Figura 19-2	Esquema del software.....	81
Figura 20-2	Escenario final de simulación	82
Figura 1-3	Conversión de unidades de potencia y ganancia	94
Figura 2-3	Código de control para caracteres no numéricos.....	95
Figura 3-3	Detalles técnicos de equipos Transmisores FM	95
Figura 4-3	Tipos de cable para enlaces de radio	96
Figura 5-3	Cables HELIAX	97
Figura 6-3	Atenuación del cable HELIAX 7/8"	97
Figura 7-3	Cables RG	98
Figura 8-3	Cables LMR	98
Figura 9-3	Cables FLEXLINE.....	99
Figura 10-3	Antenas para enlaces de radio	100
Figura 11-3	Especificaciones técnicas de antenas GP	100
Figura 12-3	Diagrama de radiaciones de antenas GP	101
Figura 13-3	Subrutina de cálculo del presupuesto de enlace	101
Figura 14-3	Equipos receptores	102
Figura 15-3	Modelamiento de atenuaciones	102
Figura 16-3	Ejecución del programa de simulación de radio.	103
Figura 17-3	Pérdidas de inserción.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Clasificación de las bandas de frecuencia.....	9
Tabla 2-1	Funciones de Bessel.....	10
Tabla 3-1	Densidad de obstáculos según el tamaño de la edificación	15
Tabla 4-1	Grado de atenuación según el material	17
Tabla 5-1	Mediciones experimentales para distintos materiales	27
Tabla 6-1	Denominación por el ancho de banda.....	29
Tabla 7-1	Denominación de las emisiones.....	30
Tabla 8-1	Valores típicos de pérdida en los cables para la banda FM.	36
Tabla 9-3	Especificaciones técnicas de antenas de polarización circular	47
Tabla 1-2	Número de mediciones por material de construcción.....	52
Tabla 2-2	División de la banda de radiodifusión en sub-bandas.....	52
Tabla 3-2	Emisoras seleccionadas.....	53
Tabla 4-2	Parámetros de medición para sub bandas	54
Tabla 5-2	Parámetros de medición para emisoras.....	54
Tabla 6-2	Medición uno: Tipo de construcción Mixta.....	61
Tabla 7-2	Medición dos: Línea de vista.	62
Tabla 8-2	Medición tres: Tipo de construcción Bloque.....	63
Tabla 9-2	Medición cuatro: Tipo de construcción Vidrio.....	64
Tabla 10-2	Medición cinco: Tipo de construcción Mixta.	65
Tabla 11-2	Medición seis: Línea de vista.....	66
Tabla 12-2	Medición siete: Tipo de construcción Subterráneo.....	67
Tabla 13-2	Medición ocho: Tipo de construcción Mixta.	68
Tabla 14-2	Medición nueve: Tipo de construcción Ladrillo.....	69
Tabla 15-2	Medición diez: Tipo de construcción Ladrillo.....	70
Tabla 16-2	Medición once: Tipo de construcción Mixta.	71
Tabla 17-2	Pérdidas de inserción para el material bloque.....	72
Tabla 18-2	Pérdidas de inserción para construcción mixta.....	74
Tabla 19-2	Pérdidas de inserción para el material vidrio	75
Tabla 20-2	Pérdidas de inserción para el material ladrillo	77
Tabla 21-2	Pérdidas de inserción para subterráneo.....	78
Tabla 22-2	Abreviaturas de controles más usuales en Visual Studio.....	79
Tabla 23-2	Accesibilidad de variables en Visual Studio.....	80
Tabla 1-3	Relación señal a ruido – ARCOTEL	84

Tabla 2-3	Relación señal a ruido – ESPOCH	85
Tabla 3-3	Relación señal a ruido en Ladrillo	86
Tabla 4-3	Relación señal a ruido en vivienda	87
Tabla 5-3	Relación señal a ruido en subterráneo	87
Tabla 6-3	Medición de potencia en diferentes materiales – ARCOTEL.....	88
Tabla 7-3	Señal Outdoor vs. Construcción mixta	89
Tabla 8-3	Potencia de señal Outdoor vs. Bloque	90
Tabla 9-3	Potencia de la señal outdoor vs. Vidrio	91
Tabla 10-3	Medición de potencia en diferentes materiales – ESPOCH.....	91
Tabla 11-3	Potencia de la señal outdoor vs. mixta.....	92
Tabla 12-3	Comparación de potencia en construcciones mixta	93
Tabla 13-3	Comparación de potencia en ladrillo	94

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	Pérdida en el espacio libre	11
Ecuación 2-1	Pérdida expresada en decibelios	11
Ecuación 3-1	Atenuación de campo	12
Ecuación 4-1	Atenuación de campo en decibelios	12
Ecuación 5-1	Potencia en función del campo.....	12
Ecuación 6-1	Reducción de la potencia	12
Ecuación 7-1	Pérdida básica con una antena isótropa	12
Ecuación 8-1	Atenuación en la atmósfera	13
Ecuación 9-1	Atenuación por lluvia	14
Ecuación 10-1	Atenuación de transmisión	14
Ecuación 11-1	Pérdida de transmisión en decibelios	14
Ecuación 12-1	Potencia del frente de onda esférico	19
Ecuación 13-1	Potencia recibida en el espacio libre	25
Ecuación 14-1	Presupuesto de potencia de enlace	34
Ecuación 15-1	Ganancia de una antena	39
Ecuación 16-1	Potencia efectiva radiada	42
Ecuación 17-1	Región de Fraunhofer	48
Ecuación 18-1	Límite de la región de Fresnel	48
Ecuación 19-1	Cálculo de la zona de Fresnel	50
Ecuación 20-1	Obstáculo en la mitad del emisor y el receptor	50
Ecuación 21-1	Primera zona de Fresnel	50
Ecuación 1-2	Función racional general del modelamiento matemático	73
Ecuación 2-2	Modelamiento de atenuaciones en bloque	75
Ecuación 3-2	Modelamiento de atenuaciones en construcción mixta	76
Ecuación 4-2	Modelamiento de atenuaciones en vidrio	77
Ecuación 5-2	Modelamiento de atenuaciones en ladrillo	79
Ecuación 6-2	Modelamiento de atenuaciones en subterráneo	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Mediciones de potencia de sub-bandas y emisoras

ANEXO B Fotografías realizando las mediciones de potencia en las respectivas locaciones escogidas para la recolección de datos

ANEXO C Código del software de simulación de radioenlaces

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AM	Amplitud Modulada.
ARCOTEL	Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones
dB	Decibeles
dBd	Decibeles sobre radiador estándar.
dB<i>i</i>	Decibeles sobre radiador isotrópico
dBm	Decibelio metro
Fading	Desvanecimiento
Fo	Frecuencia de operación
FI	Frecuencia Intermedia
FM	Frecuencia Modulada
GHz	Gigahercio
Hz	Hertzio (ciclo/segundo).
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
LOS	Línea de vista
MHz	Megahercio
PIRE	Potencia Isotrópica Efectiva Radiada
PER	Potencia Efectiva Radiada
RF	Radiofrecuencia
RFI	Interferencia de radio frecuencia
SPAN	Ancho del espectro a analizar
S/N	Relación Señal/Ruido.
UHF	Ultra High Frecuencia (Frecuencias Ultra Altas)
VHF	Very High Frequency (Muy Alta Frecuencia).

RESUMEN

En el presente trabajo se midió y simuló atenuaciones producidas por edificaciones que afectan a la banda de radiodifusión en frecuencia modulada en la ciudad de Riobamba. El equipo utilizado para realizar la medición de potencia fue el Analizador de Espectro Anritsu MS2724B. Los materiales de construcción seleccionados para la recolección de datos fueron: vidrio, ladrillo, bloque, construcción mixta y subterráneo, localizados en la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Multiplaza y dos viviendas ubicadas en el centro de la ciudad de Riobamba. Las emisoras medidas se eligieron en base a la ubicación de sus equipos transmisores, éstas son: Radio Pública del Ecuador, Máxima Caracol, Identidad Radio Cultural, Tricolor FM, Cumbre FM, Asamblea Nacional y Stereo Familiar. A partir de las mediciones se obtuvieron 121 datos, que fueron utilizados para construir un modelamiento matemático en el programa CurveExpert, se escogió como variable independiente la frecuencia expresada en megahercios y como variable dependiente la atenuación medida en decibelios. Una vez obtenidas ecuaciones matemáticas de las atenuaciones se creó un programa denominado Radiolink en el software Visual Studio. Como resultados de la simulación de atenuaciones se obtuvieron funciones racionales donde el mayor índice de pérdida se produce en el subterráneo, es de 41.5 decibelios, mientras que, el material que menos afecta a la señal es el vidrio, con una atenuación de 5.42 decibelios. Al calcular la tasa de señal a ruido se concluye que la radio más inmune a interferencias es Asamblea Nacional, con un valor de 67.52 decibelios, mientras que, la más propensa a pérdidas es Radio Identidad Cultural, con 20.73 decibelios. Además, al ejecutar el simulador Radiolink se determina si un enlace de radio es factible. A los investigadores, se recomienda realizar el estudio de atenuaciones para diferentes bandas de frecuencia.

Palabras Clave: <BANDA DE RADIODIFUSIÓN>, <ENLACE DE RADIO>, <MEDICIÓN DE POTENCIA>, <CURVEEXPERT>, <SIMULACIÓN DE ATENUACIONES>, <MODELAMIENTO MATEMÁTICO>, <TELECOMUNICACIONES Y REDES>

SUMMARY

In this paper attenuation due to buildings, affecting the broadcast band frequency modulated in the city of Riobamba were measured and simulated. The equipment used for measurement of power was the Anritsu MS2724B Spectrum Analyzer. The materials selected for data collection construction were: glass, brick, block, mixed construction and underground located at the Agency for Control and Regulation of Telecommunications, The Escuela Superior Politecnica Chimborazo, Multiplaza and two houses located in the center of the city of Riobamba. The measures stations were chosen based on the location of their transmitters, these are: Public Radio of Ecuador, High Caracol Radio Cultural Identity, Tricolor FM, FM Summit, National Assembly and Stereo Family. From measurements, 121 data were obtained, these were used to construct a mathematical modeling in the CurveExpert program. The frequency in megahertz was chosen as an independent variable and as dependent variable the attenuation measured in decibels was selected. Once mathematical equations of attenuations were obtained, a program called Radiolink was created in Visual Studio software. Rational functions in which the highest rate of loss occurs in the underground, it is 41.5 decibels, while the material less affects the signal is glass, with an attenuation of 5.42 decibels, these data was obtained as simulation results of attenuations. When calculating the rate of signal noise, it is concluded that the most immune radio interference is National Assembly, with a value of 67.52 decibels, while the most susceptible to lose is Radio Cultural, with 20.73 decibels. In addition, when running the simulator Radiolink determines whether a radio link is feasible. For researches, it is recommended the study of attenuations for different frequency bands.

KEYWORDS: <BAND BROADCAST>, <RADIO LINK>, < MEASUREMENT OF POWER>, <CURVEEXPERT>, <SIMULATION OF ATTENUATIONS>, <MATHEMATICAL MODELLING>, <TELECOMMUNICATIONS AND NETWORKS>

INTRODUCCIÓN

El servicio de emisión de señales de radio tiene una amplia acogida en el Ecuador, este medio de difusión masiva se ha popularizado desde el descubrimiento de las ondas de radio hasta la actualidad. Se basa en el envío y recepción de señales de audio a través de ondas que permiten la transmisión mediante la modulación analógica de ondas electromagnéticas, para llevar a cabo este proceso se requiere de un canal de comunicación.

Dentro de este contexto, se considera importante realizar mediciones de potencia de la señal de radio y una simulación de atenuaciones producidas por edificaciones que afectan a la banda de radiodifusión en frecuencia modulada en la ciudad de Riobamba, por lo que se recogen datos de la potencia receptada por el radioescucha, haciendo especial énfasis en las pérdidas de inserción generadas por diferentes materiales de construcción como vidrio, bloque, ladrillo, construcción mixta y subterráneo. Posteriormente se realiza un análisis de la información para determinar el índice de atenuación ocasionada por distintas edificaciones.

El primer capítulo consta del marco teórico conceptual en donde se estudia la radiodifusión en frecuencia modulada, las distintas atenuaciones que afectan a la señal, los conceptos básicos de radiodifusión, modelos de propagación electromagnética, varios parámetros teóricos de un radioenlace, además, las normas técnicas vigentes en el Ecuador para la radiodifusión, entre ellas están: La Constitución y la Norma Técnica Reglamentaria para Radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica.

En el segundo capítulo se describe el marco metodológico, que corresponde al conjunto de métodos y técnicas presentes en el desarrollo del trabajo investigativo, se plantea un protocolo de mediciones de potencia para la señal de radiofrecuencia en la porción de espectro radioeléctrico de 88 a 108 MHz. Se realiza un modelamiento matemático para generalizar la variación de potencia en los materiales de construcción estudiados, de manera que se puedan calcular las pérdidas en decibelios para cualquier frecuencia que esté dentro del campo examinado. Luego, se creó un programa para simular enlaces de radios y verificar si se pueden realizar considerando las pérdidas y ganancias de los diferentes componentes del sistema.

Asimismo, dentro de mismo capítulo se plantea una situación de análisis de las atenuaciones en la banda de radiodifusión en frecuencia modulada en ambientes de interiores, que no son controladas por entes afines a las telecomunicaciones, sino que solamente se regula la emisión

de ondas electromagnéticas en ambientes outdoor, es decir, fuera de las edificaciones, de allí surge la importancia de conocer el tipo de servicio que las estaciones de radiodifusión están brindando al usuario y verificar el cumplimiento de los parámetros técnicos establecidos en la normativas para el servicio de radiodifusión.

Finalmente, el tercer capítulo presenta los resultados obtenidos después de realizado el estudio, se expone el cálculo de la relación señal a ruido de cada medición obtenida para evaluar la vulnerabilidad de la onda de radio frente a las atenuaciones, también se realiza una comparación entre la señal en ambientes exteriores e interiores con el objetivo de simular las pérdidas de inserción mediante la creación de un programa en Visual Studio.

ANTECEDENTES

Actualmente los servicios de radiodifusión constituyen un medio de comunicación sustancial para las sociedades, ya que según la Ley Orgánica de Telecomunicaciones; la radiodifusión es un servicio cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general, por lo que se conoce a la radio como el medio masivo de comunicación por excelencia. La historia de la radiodifusión empieza precisamente en la ciudad de Riobamba, en el año de 1929, para entonces no existían leyes de regulación de la radiodifusión, sino que únicamente se establecía una identificación; así por ejemplo a Sudamérica se le asignaba la letra S y al Ecuador la letra E (Jiménez, 2010, p. 2), pero actualmente existen entes estatales que controlan y regulan las telecomunicaciones y verifican que la señal recibida por el usuario sea de calidad.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional, y para la radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en ondas métricas recomienda que el valor medio de la intensidad de campo eléctrico en zonas urbanas, no sea menor a 66 dB, y en zonas rurales a 54 dB, medidos a 10 metros por encima del suelo (Unión Internacional de Telecomunicaciones, p. 2), mientras que en Ecuador, la Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión sonora en Frecuencia Modulada FM indica que el valor de intensidad de campo eléctrico en el borde de área de cobertura principal debe ser mayor o igual a 54 dB, y para áreas de cobertura secundaria debe estar entre 50 y 54 dB, estos datos son válidos para exteriores, es decir, no se consideran las pérdidas adicionales provocadas por las edificaciones hasta que la señal es recibida por los radioescuchas, que mayoritariamente es en ambientes de interiores.

En el Ecuador, la Constitución considera a las Telecomunicaciones como un sector estratégico, y a la radiodifusión como un recurso de acceso universal, continuo y de calidad, por lo que los parámetros técnicos deben ser constantemente evaluados.

Precisamente por este motivo se ha designado un organismo encargado de estas competencias (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), y según estadísticas recientes presentadas en mayo del presente año, existen 716 estaciones sonoras de frecuencia modulada, 185 estaciones de servicio público y solamente 20 de servicio comunitario en nuestro país (SIRATV, Número de Estaciones Concesionadas a Nivel Nacional y por Tipo, 2015), varias de ellas se encuentran prestando sus servicios en la provincia de Chimborazo, 47 estaciones son comerciales privadas, mientras que solamente 12 se encuentran al servicio público (SIRATV, Número de Estaciones Concesionadas por Provincia y por Tipo, 2015), todas ellas se encuentran debidamente concesionadas. En Riobamba, la señal recibida por los usuarios sufre atenuaciones debido a varios factores como la reflexión, difracción, dispersión o reflexión difusa y absorción (Vega, 2010, p. 4-7).

En el presente trabajo de titulación se pretende realizar un modelamiento y una simulación de atenuaciones producidas por edificaciones en la ciudad de Riobamba en base a valores obtenidos al realizar mediciones de potencia de la señal recibida por los radioescuchas en ambientes indoor.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Existen varias recomendaciones para la radiodifusión publicadas por la UIT, en las que se sugieren valores de los parámetros técnicos para la planificación de radioenlaces, estos datos están enfocados a una transmisión en zonas urbanas y rurales, pero solamente en exteriores, específicamente existen las normas para la planificación de la radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en ondas métricas, publicadas en la recomendación UIT-R BS.412-9 que tienen como objetivo garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones. Sin embargo, los valores de señal recibida en interiores son importantes debido a que la mayoría de radioescuchas tiene su receptor ubicado dentro de alguna edificación, por lo que resulta importante realizar mediciones de la potencia y la intensidad de campo de la señal para realizar un modelamiento matemático y una simulación en base a los datos obtenidos.

En el presente trabajo de titulación se pretende predecir los valores de la señal recibida en ambientes de interiores tomando en cuenta las atenuaciones generadas por las edificaciones, este proceso se realizará en base a las mediciones obtenidas en diferentes puntos del centro de la ciudad de Riobamba, los datos serán procesados ya que serán el punto de partida para realizar un modelamiento matemático que se ajuste a la variación de los parámetros, a partir de allí se realizará una simulación en un lenguaje de programación que permita al usuario calcular los diferentes tipos de pérdidas y atenuaciones generadas en el radio enlace desde el transmisor hacia el receptor del radioescucha.

OBJETIVOS

Objetivo general

Medir y simular las atenuaciones producidas por edificaciones que afectan a la banda de radiodifusión en frecuencia modulada en la ciudad de Riobamba.

Objetivos específicos

- Estudiar los modelos de propagación, la regulación y gestión del espectro radioeléctrico en el Ecuador.
- Medir y comparar la señal de radio recibida dentro de varios tipos de edificaciones y fuera de ellas utilizando el analizador de espectro.
- Calcular la relación señal a ruido de las frecuencias de radio seleccionadas para determinar su vulnerabilidad frente a las pérdidas de inserción
- Realizar un modelamiento matemático y simular las atenuaciones causadas por edificaciones que afectan a la señal recibida por el usuario final.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo la descripción de la radiodifusión en frecuencia modulada, sus elementos, tipo de propagación, modelos de propagación para exteriores e interiores, así como también el análisis de atenuaciones por las que la onda de radio se ve afectada a lo largo de su trayecto desde el emisor hasta el radioescucha, haciendo especial énfasis en las pérdidas de inserción causadas por las edificaciones de la ciudad de Riobamba.

Dentro de este contexto, es esencial hacer un estudio de la radiodifusión en el Ecuador en cuanto a atribuciones de bandas de frecuencia, regulación y gestión del uso del espectro radioeléctrico en base a la Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica vigente.

1.2 Radiodifusión en frecuencia modulada

La radiocomunicación es un tipo de telecomunicación basada en ondas electromagnéticas, su característica principal es usar un medio no guiado para la transmisión, propagación y recepción de información, este medio se conoce como espectro radioeléctrico, que básicamente es el conjunto de frecuencias entre 10 kHz y 3000 GHz, en el cual se puede producir radiación electromagnética. Particularmente, la radiodifusión en frecuencia modulada es la emisión de ondas hertzianas en el rango de frecuencia de 88 a 108 MHz, destinadas para el público en general.

El servicio de radiodifusión en frecuencia modulada adopta su nombre debido al tipo de modulación por el que atraviesa la señal de información antes de ser enviada, la propiedad de la señal analógica que varía es la frecuencia, con el objetivo de minimizar el ruido y el desvanecimiento, mejorar la fidelidad del sistema y usar eficientemente la potencia. Sin embargo, se requiere de un ancho de banda mayor en comparación con la modulación en amplitud.

La modulación en frecuencia o frecuencia modulada (FM) es un proceso en el que se mezcla la señal de información, que está en una frecuencia baja, con la señal de un oscilador, de alta frecuencia, donde la frecuencia instantánea de la señal modulada (información) es directamente proporcional al valor instantáneo de la señal moduladora (portadora). La aplicación más conocida de este tipo de modulación es la radio, en donde se tiene equipos transmisores que efectúan el proceso de modulación, y equipos receptores de la señal que realizan el proceso inverso, conocido como demodulación, en el cual se recibe la señal con mayor potencia de todas las que se transmiten en un mismo rango de frecuencia.

1.2.1 Conceptos básicos

Dentro de este marco de ideas es fundamental plantear ciertos conceptos básicos que son frecuentemente utilizados al momento de analizar las radiocomunicaciones y particularmente, la radiodifusión en frecuencia modulada:

- ❖ El proceso de comunicación empieza con la estación transmisora o transmisor, término que hace referencia al conjunto de equipos utilizados para el tratamiento de la señal de información, dicha estación está compuesta por: filtros, moduladores, osciladores y antenas.
- ❖ El medio de transmisión, es el canal por el cual viajan las ondas moduladas en frecuencia, introduce pérdidas, ruido, interferencias y perturbaciones en la señal.
- ❖ Finalmente, la señal es receptada por el equipo receptor, que se encarga de demodularla y reconstruirla, es decir, transforma las ondas demoduladas en señales audibles para el usuario.

En la figura 1-1, se muestra gráficamente el proceso de modulación en frecuencia de una onda de sonido, que es generada desde una fuente analógica. Entra a un modulador de frecuencia para ser mezclada con una señal portadora, dando como resultado una onda modulada en frecuencia en la que la amplitud se mantiene constante, pero su frecuencia varía en función de la onda de información.

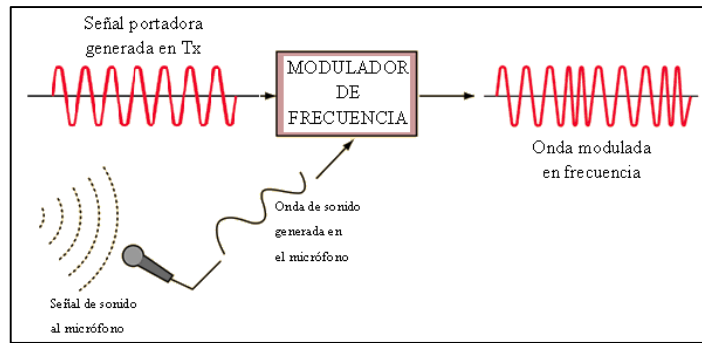


Figura 1-1 Modulación en frecuencia

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

1.2.2 Estación radioeléctrica

Una estación radioeléctrica se define como el conjunto de componentes necesarios e indispensables para llevar a cabo la radiocomunicación en un lugar determinado, estos son: transmisores, receptores e instalaciones accesorias. Al igual que los servicios de telecomunicaciones, las estaciones se clasifican según el tipo de radiocomunicación que se transmite, teniendo así:

- Estación terrena: Está ubicada en la superficie de la Tierra o de la atmósfera, establece la radiocomunicación con estaciones espaciales y satélites.
- Estación fija: Encargada de brindar el servicio fijo, sus antenas y equipos están localizados en puntos fijos determinados.
- Estación móvil: Encargada de brindar el servicio móvil, es utilizada en puntos no determinados, o en movimiento.

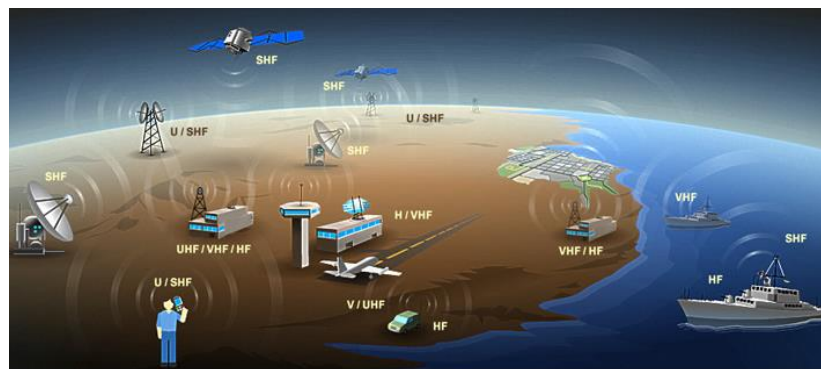


Figura 2-1 Estaciones Radioeléctricas

Realizado por: <http://www.diarioregistrado.com/upload/news/diarioregistrado/5516b6c5a6cf5.jpg>

1.2.3 Espectro Electromagnético y Radioeléctrico

Una onda electromagnética es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento (Ordóñez, 2012, pp. 17-21) cuando estas ondas se emiten desde una fuente determinada se conocen como radiación electromagnética, que puede ser natural, como la radiación cósmica o solar, y artificial, como la radiación producida en los hornos microondas o en las máquinas de rayos X.

Se conoce como espectro electromagnético al conjunto de todas las frecuencias en las cuales se puede producir radiación electromagnética, es decir, es la distribución energética de todas las ondas electromagnéticas. Teóricamente, el límite inferior de dicho espectro es 0 y el límite superior es infinito, pero prácticamente es imposible obtener frecuencias infinitas, por lo que se ha delimitado un espacio más pequeño para los servicios de radiocomunicaciones por medios no guiados, al que se le ha llamado Espectro Radioeléctrico, que se encuentra en el rango de frecuencias de 10 kHz hasta 3000 GHz.

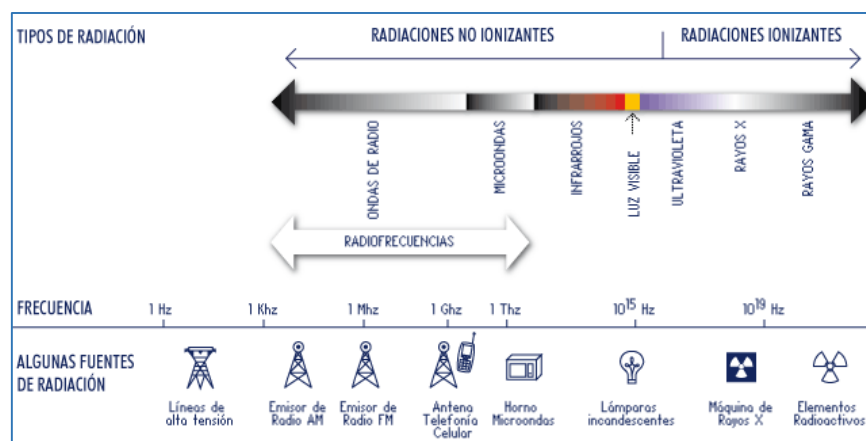


Figura 3-1 Espectro radioeléctrico

Fuente: <http://goo.gl/A3Wgpl>

1.2.4 Bandas de radiodifusión

El espectro de frecuencias para la radiodifusión fue dividido por el Comité Consultivo de las Comunicaciones de Radio, CCIR, en el que se diferencia la siguiente clasificación:

- Radiodifusión Marina: Las ondas de radio son largas, están entre 1000 y 2000 metros, su frecuencia está comprendida entre los 30 y 300 kHz.

- Radiodifusión de Onda Media: Se usa preferentemente para la radiodifusión OM y comprende las frecuencias entre 300 y 3000 kHz.
- Radiodifusión de Onda Corta: Se caracteriza porque sus ondas alcanzan distancias más elevadas, ya que tienen una longitud de entre 10 y 100 metros, su propagación se realiza en la banda de 3 y 30 MHz.
- Radiodifusión de Onda Ultracorta: Las ondas se propagan entre los 30 y 300 MHz, van de 1 a 10 metros. Existe un solapamiento entre las señales de televisión, radio y frecuencia modulada. En América, la banda de radiodifusión modulada en frecuencia opera en un margen de frecuencia comprendido entre los 88 y 108 MHz; mientras que, en Europa Oriental se sitúa entre los 66 y 72 MHz, y finalmente en el rango de 88 a 104 MHz en el resto del mundo (Rábanos, 2010, p. 24).

En la tabla 1-1 se detalla la clasificación general de las bandas de frecuencia, su numeración, el rango de frecuencias en las que opera cada una, y la designación atribuida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Tabla 1-1 Clasificación de las bandas de frecuencia

Número de la banda	Rango de frecuencias	Designación	Significado
2	30 – 300 Hz	ELF	Frecuencias extremadamente bajas
3	0.3 – 3 kHz	VF	Frecuencias de voz
4	3 – 30 kHz	VLF	Frecuencias muy bajas
5	30 – 300 kHz	LF	Frecuencias bajas
6	0.3 – 3 MHz	MF	Frecuencias medias
7	3 – 30 MHz	HF	Frecuencias altas
8	30 – 300 MHz	VHF	Frecuencias muy altas
9	0.3 – 3 GHz	UHF	Frecuencias ultra altas
10	3 – 30 GHz	SHF	Frecuencias súper altas
11	30 – 300 GHz	EHF	Frecuencias extremadamente altas
12	0.3 – 3 THz	IR	Luz infrarroja
13	3 – 30 THz	IR	Luz infrarroja
14	30 – 300 THz	IR	Luz infrarroja
15	0.3 – 3 PHz	Luz visible	Percibida por el ojo humano
16	3 – 30 PHz	UV	Luz ultravioleta
17	30 – 300 PHz	Rayos – X	Invisible para el ojo humano
18	0.3 – 3 EHz	Rayos gamma	Radiación muy penetrante
19	3 – 30 EHz	Rayos gamma	Radiación muy penetrante

Fuente: SUPERTEL. (Ley s/n, R.O. 691, 95)

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

1.2.5 Banda comercial de emisión en FM

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) es la encargada de regular las telecomunicaciones a nivel internacional. Este organismo ha asignado una banda de frecuencias de 20 MHz para el servicio de radiodifusión en frecuencia modulada, que se encuentra dentro del rango de 88 a 108 MHz, con una canalización de 100 y 200 KHz, la desviación máxima permitida es de 75 kHz, con una frecuencia máxima de señal moduladora de 15 kHz.

El índice de modulación para el peor de los casos es 5, que se obtiene del cociente entre la desviación máxima permitida y la frecuencia máxima de la señal moduladora. Cuando este índice toma el valor de 5, se producen ocho pares de frecuencias laterales significativas según las funciones de Bessel mostrada en la tabla 2-2, por lo que, el ancho de banda necesario para pasar todas las frecuencias laterales significativas es 240 kHz, que es mayor por 40 kHz al asignado por la FCC. Como solución a este problema se optó por asignar uno de cada dos canales en un área geográfica dada, para evitar la interferencia por canal adyacente.

Consecuentemente, hay una banda de protección de 200 kHz a cada lado de un canal asignado. Particularmente, en el Ecuador, el ancho de banda de protección para un canal es del 400 kHz para evitar cualquier tipo de interferencia.

Tabla 2-1 Funciones de Bessel.

mf	Orden																
	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}	J_{16}
0.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	0.98	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.94	0.24	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.0	0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	0.40	0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.0	0.18	0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
6.0	0.15	0.28	0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-	-
7.0	0.30	0.00	0.30	0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-
8.0	0.17	0.23	0.11	0.29	0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	-	-	-	-	-

Fuente: <http://goo.gl/toCWsY>

1.3 Atenuaciones

Para la propagación de ondas electromagnéticas, el espacio libre es considerado como el vacío, por lo tanto no se consideran pérdidas. Cuando dichas ondas se encuentran en el vacío, se dispersan y se reduce la densidad de potencia, fenómeno que se conoce como atenuación.

La atenuación está presente en el espacio libre tanto como en la atmósfera terrestre y matemáticamente está descrita por la ley del cuadrado inverso que explica cómo se reduce la densidad de potencia en base a la distancia a la fuente. Se dispersa el campo electromagnético continuo a medida que el frente de onda se aleja de la fuente, lo que produce que las ondas se alejen cada vez más entre sí, produciendo una pérdida de potencia, dando como resultado menor cantidad de ondas electromagnéticas por unidad de área.

1.3.1 Atenuación básica de propagación en el espacio libre

Para realizar el análisis de este tipo de atenuaciones se plantea un radioenlace con antenas isotrópicas, ubicadas en el espacio libre, considerando una línea de vista entre los equipos pasivos del emisor y el receptor.

Existe una pérdida básica en condiciones de espacio libre, basada en la potencia transmitida por una antena isotrópica y recibida por una antena similar, de donde se obtiene la ecuación 1-1.

$$l_{bf} = \frac{P_t}{P_r} = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Para facilitar el cálculo de radioenlaces, se expresa esta fórmula en decibelios.

$$L_{bf}(dB) = 32,45 + 20 \log f(MHz) + 20 \log d(km) \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Es común expresar la frecuencia en MHz y la distancia en km cuando se realiza el cálculo para la banda de radiodifusión, mientras que, para los enlaces de microondas, la frecuencia se expresa en GHz, por lo que, el valor de la constante se incrementa a 92,45.

1.3.2 Atenuación a través de un medio cualquiera

Las pérdidas y sus conceptos son similares al caso de la propagación en el espacio libre ya que existe una pérdida básica (l_b), que resulta del cociente entre la potencia transmitida por una antena isotrópica y recibida por un dispositivo de características semejantes.

A diferencia del caso anterior, el análisis de este tipo de pérdidas, conocidas como atenuaciones de campo, debe realizarse tomando en cuenta el medio en cuestión y los valores de campo producidos por una antena isotrópica que radia una potencia p_t a una distancia d , siendo expresada en la ecuación 3-1.

$$a_e = \left(\frac{e_o}{e} \right)^2 \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

e y e_o corresponden a los campos producidos por una antena isótropa que radia potencia a una distancia determinada.

La ecuación 3-1 expresada en decibelios se muestra en la ecuación 4-1:

$$A_E = 20 \log \left(\frac{e_o}{e} \right) = E_o(dBu) - E(dBu) \quad \text{Ecuación 4-1}$$

La potencia recibida en función del campo es:

$$P_r = \frac{e^2}{120\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} = \left(\frac{e}{e_o} \right)^2 \cdot \frac{e_o^2}{120\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

En base a la propagación en el espacio libre, la expresión anterior se reduce a:

$$P_r = \frac{1}{a_e} \cdot P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad \text{Ecuación 6-1}$$

Por consiguiente:

$$L_B = L_{bf} + A_E \quad \text{Ecuación 7-1}$$

En donde L_B es la pérdida básica con una antena isótropa en un medio cualquiera, L_{bf} representa la pérdida básica en el espacio libre y A_E es la atenuación de campo, una pérdida en exceso del enlace.

1.3.3 *Atenuación por vegetación*

Se produce cuando el receptor de la señal se encuentra ubicado un terreno boscoso, las ondas sufren una pérdida adicional debido a que deben atravesar la vegetación. La Unión Internacional de Telecomunicaciones plantea la Recomendación UIT-R P.833-2 para la evaluación y cálculo de este tipo de atenuación, en donde, mediante un grupo de curvas graficadas en base a la

frecuencia de las ondas electromagnéticas y el tipo de polarización de las antenas se puede conocer la atenuación adicional expresada en dB/m, cuando el valor de la atenuación supera los 30 dB debe considerarse la difracción, ya sea en obstáculos agudos o en el modelo de tierra esférica.

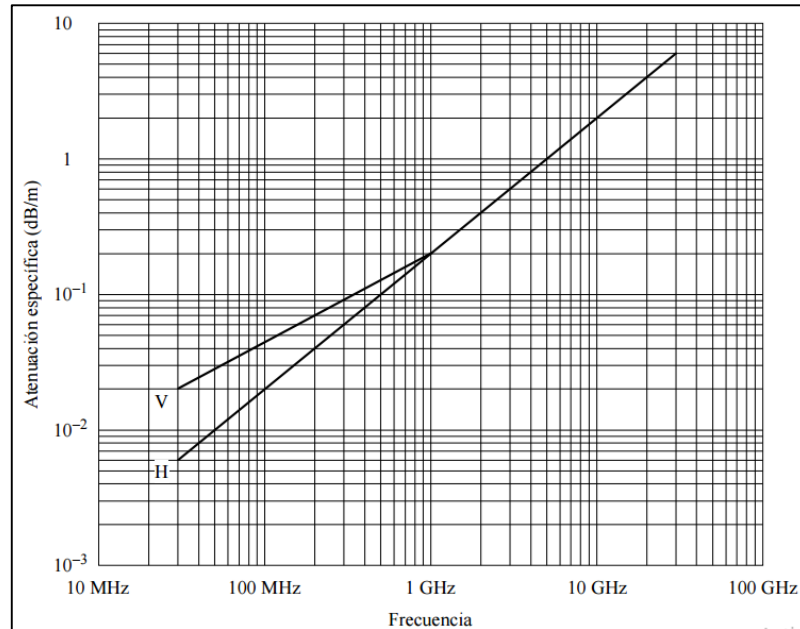


Figura 4-1 Atenuación específica en zonas boscosas

Fuente: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.833-8-201309-I!!PDF-S.pdf

Para la banda de radiodifusión en frecuencia modulada la atenuación por vegetación es de aproximadamente 0,5 dB/m cuando la polarización de la antena es vertical, mientras que, cuando la polarización es horizontal, el valor de la atenuación es incluso menor.

1.3.4 Atenuación por gases y vapores atmosféricos

La atenuación por gases y vapores atmosféricos se produce en trayectos troposféricos, debido a que las moléculas de H₂ y H₂O absorben la energía electromagnética, es de vital importancia en frecuencias muy altas, es decir, en el orden de los GHz, donde se aplica un análisis matemático en base a la fórmula siguiente:

$$A_a = \gamma_a \cdot d \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Donde, A_a representa a la atenuación en la atmósfera, γ_a es la atenuación específica, expresada en dB/m y d es la distancia. Este tipo de atenuación no es considerada para el rango

de frecuencias de entre 88 y 108 MHz, sino solamente para frecuencias iguales o mayores a 10 GHz.

1.3.5 Atenuación por lluvia

Es producida a causa de la absorción y dispersión de hidrometeoros, lluvia, granizo y nieve, de los enlaces troposféricos y por satélite. Este tipo de atenuación se evalúa para enlaces en los que la frecuencia supera los 6 GHz, para los cuales se calcula la atenuación por lluvia excedida durante porcentajes de tiempos pequeños. Matemáticamente, dicho fenómeno se describe mediante la siguiente fórmula:

$$A(R, p) = \gamma(R, p) \cdot L_{ef} \quad \text{Ecuación 9-1}$$

Donde, $A(R, p)$ es la atenuación de la intensidad de lluvia durante un porcentaje de tiempo, $\gamma(R, p)$ es la atenuación específica expresada en dB/km, que depende de la frecuencia y la polarización, y L_{ef} , que se expresa en km, representa la longitud efectiva del trayecto.

1.3.6 Atenuación de transmisión.

La pérdida de transmisión (l_t), entre dos antenas cualesquiera, a través de un medio arbitrario matemáticamente se define en la ecuación 10-1.

$$l_t = a_e \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{1}{g_t \cdot g_r} \quad \text{Ecuación 10-1}$$

En dB:

$$L_t = L_{bf} + A_E - G_t - G_r = L_b - G_t - G_r \quad \text{Ecuación 11-1}$$

1.3.7 Atenuación por penetración en construcciones.

Este tipo de pérdidas se calculan diferenciando el promedio de la señal medida en el edificio a nivel del suelo con el promedio de la señal sobre el piso de interés. Actualmente este tipo de análisis está enfocado hacia la telefonía móvil celular, pero es esencial conocer cuál es el efecto

por pérdidas de construcciones y edificios en frecuencias más bajas, es decir, a partir de los 88 MHz.

Para el estudio y creación un modelo de propagación de interiores surgen nuevos desafíos, uno de ellos es la falta de conocimiento de los parámetros de construcción de los edificios, debido a que no se encuentran disponibles, por ejemplo, el material de construcción, el espesor de la pared y las estructuras interiores de los edificios.

Como segundo desafío se tiene la existencia de reflexión y multitrayectoria por los múltiples obstáculos encontrados entre el emisor y el radio receptor, así como también, la falta de conocimiento de los coeficientes de difracción para muchas estructuras interiores.

Para la propagación en un ambiente interior, se puede considerar configuraciones de los lugares donde se realiza la comunicación y configuración de las zonas de cobertura donde se proporcionan los servicios de la red y de esta forma poder caracterizar físicamente el ambiente que puede variar con respecto a la utilización del mismo (oficina, casa, museo, etc.)

La condición de no tener línea de vista provoca mayores problemas que la de tenerla, así como la determinación de la capacidad de los canales y la calidad de los enlaces. En el caso de un ambiente interior, ambas condiciones existen, independientemente de que las señales recorran distancias muy cortas, esto es debido a la gran cantidad de obstáculos presentes en el ambiente, como se mencionó anteriormente.

El tamaño de los posibles lugares es diverso, desde pequeño hasta grande, y la densidad de obstáculos varía desde baja hasta alta. Estas configuraciones de las áreas de trabajo se encuentran en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Densidad de obstáculos según el tamaño de la edificación

Configuración	Tamaño del lugar	Densidad de los obstáculos
1	Grande sin particiones	Baja
2	Grande con particiones suaves	Baja a media
3	Grande sin particiones	Alta
4	Pequeño	Baja
5	Pequeño	Alta

Fuente: Muñoz Rodríguez D, 2002, p. 126.

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La configuración de las zonas de cobertura se divide en seis casos donde la división obedece al tipo de enlace de comunicación entre las terminales y la estación transmisora o repetidor, según sea la implementación con la que se cuente o se haya instalado. Los seis posibles casos que pueden ser: zona extragrande, grande, mediana, pequeña, microzona y sistema distribuido.

La radio propagación de interiores es dominada por los mismos mecanismos que la de exteriores, estos son reflexión, refracción y dispersión. Sin embargo, las condiciones varían mucho más en función de diferentes factores físicos que involucran tanto el diseño de los edificios, como su altura y los materiales con los que son construidos.

En general, los canales de propagación para interiores (indoor channels) pueden ser clasificados en dos tipos: Línea de vista (LOS) y Línea de vista para interiores (OBS) (Rábanos, 2010, p. 35)

1.4 Propagación de ondas electromagnéticas.

El término propagación hace referencia al envío de ondas hacia todas las direcciones, dentro de este caso particular, se tratarán las ondas electromagnéticas en el espacio libre, que teóricamente implica el vacío, pero en la práctica, se conoce a la atmósfera terrestre como el medio de propagación principal.

Una de las diferencias es que la atmósfera introduce pérdidas de señal que no se encuentran en el vacío que tienen que ser analizadas y modeladas para lograr minimizar las pérdidas entre emisor y receptor.

Cualquier material dieléctrico sirve como medio de propagación para las ondas electromagnéticas, entre ellos está incluido el aire, mientras que, a través de conductores con pérdidas la energía de las ondas se disipa con rapidez por lo que no son considerados para la propagación.

Las ondas de radio son consideradas como electromagnéticas, al igual que la luz, por lo que se mantiene la velocidad de propagación que es de 300 000 000 metros por segundo en el espacio libre y en línea recta.

La propagación de estas ondas se da a través de la atmósfera terrestre, con energía transmitida por una fuente emisora, que posteriormente llega al lado del receptor, en donde se situará una antena.

1.4.1 Propiedades de propagación de los medios

El debilitamiento y atenuación de la señal se produce en gran parte a las propiedades físicas del medio que atraviesa la onda de radio frecuencia. La tabla 4-1 muestra los niveles de atenuación para diferentes materiales.

Tabla 4-1 Grado de atenuación según el material

Materiales	Grado de atenuación	Materiales	Grado de atenuación
Aire	Ninguno	Seres vivos	Medio
Madera	Bajo	Ladrillos	Medio
Plástico	Bajo	Yeso	Medio
Vidrio	Bajo	Papel	Alto
Vidrio teñido	Medio	Concreto	Alto
Agua	Medio	Metal	Muy alto

Fuente: <http://es.ccm.net/contents/pdf/819-propagacin-de-las-ondas-de-radio-802-11>

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

1.4.2 Frentes de onda.

Debido a su alta frecuencia, las ondas electromagnéticas no son visibles al ojo humano por lo que se debe realizar un análisis en base a métodos indirectos como esquemas, modelamientos, mediciones y simulaciones.

Para ilustrar el efecto de propagación se hace uso de dos conceptos, los rayos, que son líneas trazadas a lo largo de la dirección de una onda de radio con el objetivo de mostrar la dirección relativa de propagación de la onda y los frentes de onda que representan una superficie de ondas electromagnéticas de fase constante, se forma cuando se unen puntos de igual fase en rayos de una misma fuente.

1.4.3 Frente de onda plana.

El frente de onda plana se presenta cuando una superficie es plana y su frente de onda es perpendicular a la dirección de propagación. Mientras más cerca esté el frente de la fuente, el frente de la onda se vuelve más complicado.

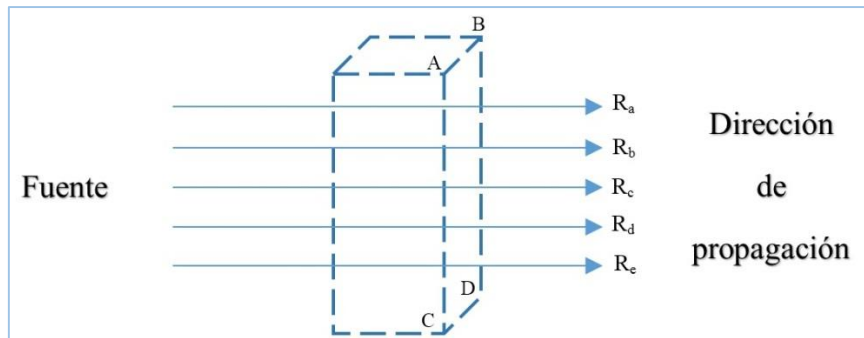


Figura 5-1 Frente de onda plana.

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

1.4.4 Frente de onda de una fuente puntual.

La mayoría de frentes de onda no son tan sencillos de plantear como un frente de onda plana, por lo tanto es conveniente analizar varios rayos propagados en todas las direcciones por una fuente puntual. Se debe considerar una fuente isotrópica, mientras que el frente de onda generado por la misma será una esfera con su respectivo radio y en la cual el centro está en el punto de origen de las ondas. Dentro de una superficie pequeña y en el espacio libre, los rayos del frente de onda esférico se asemejan a los de frente plano, por lo que éstos son casi paralelos a la dirección de propagación.

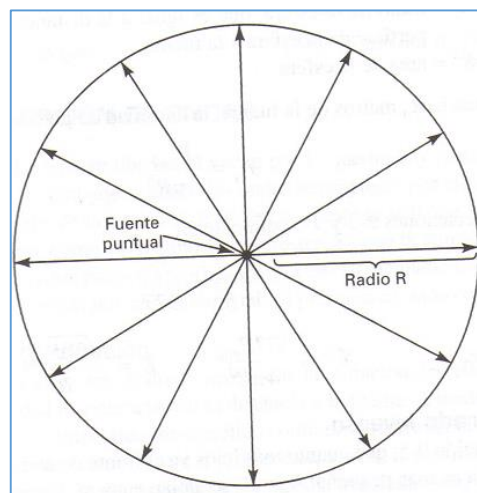


Figura 6-1 Frente de onda producido por una fuente puntual.

Fuente: <http://goo.gl/kuxhor>

1.4.5 Frente de onda esférico.

Uno de los elementos esenciales para generar un frente de onda esférico es el radiador isotrópico, que irradie en todas las direcciones. En la práctica, no existe dicho tipo de radiador,

pero se puede hacer una aproximación con una antena omnidireccional, que está en la capacidad de producir un frente de onda esférico de radio R.

La característica principal de este frente de onda es que todos los puntos que se encuentren a una distancia determinada en la superficie de la esfera, cuentan con la misma densidad de potencia. A cualquier otra distancia, la potencia que se irradia se encuentra distribuida uniformemente sobre la totalidad de la superficie de la esfera, lugar en el que se considera que el medio de transmisión no tiene pérdidas.

La potencia radiada por una fuente puntual se describe matemáticamente en la ecuación 12-1.

$$P = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2} \quad \text{Ecuación 12 - 1}$$

1.4.6 Ley del cuadrado inverso.

La ley del cuadrado inverso enuncia que la densidad de potencia es más pequeña, a medida que el frente de onda se aleja de la antena transmisora. En tal caso, la potencia total que se distribuye sobre la esfera es constante.

Por otro lado, el área de la esfera se incrementa guardando una relación directamente proporcional con la distancia a la que se encuentra de la fuente, dicho de otra forma, el radio de la esfera elevado al cuadrado, dando como resultado una menor densidad de potencia.

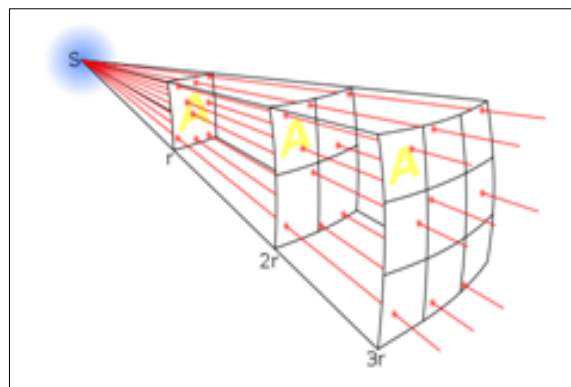


Figura 7-1 Ley del cuadrado inverso.

Fuente: <http://goo.gl/CxnVA6>

1.5 Modelos de propagación electromagnética

En este apartado se detallará la propagación de ondas electromagnéticas por medios no guiados, que tienen como característica el alcance de largas distancias. Son múltiples las aplicaciones en las que interviene este tipo de propagación, la televisión, los sistemas de radiotelefonía, radiotelegrafía, radionavegación, radiolocalización, radiodifusión sonora, entre otras.

El objetivo de los modelos de propagación es ajustar los datos obtenidos en los procesos que ocurren en la propagación de señales de radiofrecuencia, en torno al interior o exterior de las edificaciones.

1.5.1 Características de propagación.

Los modos de propagación y sus respectivas características van a depender de la frecuencia de las ondas radioeléctricas y del terreno por el que éstas se propagan. Según su frecuencia se tiene la siguiente clasificación.

- Onda de superficie (OS): Las frecuencias son inferiores a 30 MHz, tiene grandes alcances y su señal es bastante estable. Uno de los factores que influye notablemente es el suelo.
- Onda ionosférica (OI): Aquellas que están comprendidas entre 3 y 30 MHz. La propagación se da debido a la reflexión de ondas en las capas ionizadas que rodean la Tierra, generalmente la ionosfera. Tienen gran alcance, pero cierta inestabilidad.
- Onda espacial (OE): Para frecuencias mayores a 30 MHz. Por ejemplo: las ondas de radiodifusión en frecuencia modulada. La propagación tiene lugar en las capas bajas de la atmósfera terrestre, troposfera. Los sub modos que se pueden distinguir son: Onda directa (OD), Onda reflejada (OR) y Ondas de Multitrayecto (ORM). La onda espacial es estable, aunque su alcance está limitado a la línea de vista entre el emisor y el receptor. Se produce una disminución de la potencia a causa de la reflexión especular en el suelo (OR) y reflexión multitrayecto (ORM), fenómeno conocido como desvanecimiento.
- Onda de dispersión troposférica (ODT): La base de este tipo de propagación son las reflexiones causadas por discontinuidades que se deben a la variación de las constantes físicas de la tropósfera. Se produce una reflexión dispersiva por la variación del índice de

refracción, por lo que se tiene una pérdida elevada y un desvanecimiento profundo. (Rábano, 2010, p. 48)

1.5.2 Influencia del medio de transmisión en la propagación.

Existen varios factores que hacen que el modelo ideal de propagación en el espacio libre descrito en la ecuación de Friss no se ajuste a valores reales, entre estos están el suelo, la ionósfera y la tropósfera y sus respectivos factores físicos como la orografía, sus propiedades eléctricas, entre otras.

Con respecto al suelo, a bajas frecuencias (por debajo de la banda MF) la Tierra es un buen conductor, por ejemplo, ideal para el servicio de Radiodifusión AM siendo capaz de transportar campos electromagnéticos más allá que la línea de vista directa, mientras que, cuando la frecuencia es alta, la atenuación de este medio es elevada, por lo que se hace necesario levantar una cierta distancia las antenas del suelo.

En cuanto a la tropósfera, la concentración no uniforme de gases ocasiona una curvatura en los rayos a causa del cambio del índice de refracción del medio por la diferencia de altura, ya que a menor altura, mayor concentración de gases. En el caso de las microondas, se produce una atenuación adicional en las moléculas, además existen atenuaciones adicionales en la propagación a causa del agua en forma de vapor, o hidrometeoros como la lluvia, la niebla, la nieve, etc.

Finalmente, la ionosfera es una capa de la atmósfera que refleja las ondas de baja frecuencia, refracta las ondas a medio y alta frecuencia y despolariza las ondas de muy alta y extra alta frecuencia. A continuación, se describen varios fenómenos que afectan a la propagación de una onda electromagnética.

1.5.2.1 Reflexión

El fenómeno físico conocido como reflexión en las ondas electromagnéticas ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera existente, un objeto, y parte de la potencia incidente no penetra el mismo, por lo que las ondas que no penetran el objeto se reflejan. Debido a que todas las ondas reflejadas permanecen en el mismo medio que las ondas incidentes, sus velocidades son iguales y por lo tanto el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

Este fenómeno depende de las propiedades de la señal y de las propiedades físicas del objeto. Se conocen dos tipos de reflexión, la especular y la difusa, la primera se da cuando el objeto contra el que choca la onda es plano, mientras que la segunda se produce cuando la barrera contra la que choca la onda es irregular y las hendiduras son más pequeñas que la longitud de onda, la reflexión difusa se conoce también como dispersión.

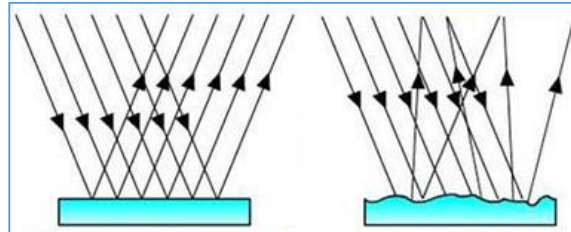


Figura 8-1 Reflexión especular y difusa

Fuente: <http://todo-fotografia.com/wp-content/uploads/2012/09/Reflexion1.jpg>

1.5.2.2 Difracción

Es un fenómeno característico de las ondas que se basa en la desviación de éstas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija. La difracción ocurre en todo tipo de ondas, desde ondas sonoras, ondas en la superficie de un fluido y ondas electromagnéticas como la luz visible y las ondas de radio. También sucede cuando un grupo de ondas de tamaño finito se propaga; por ejemplo, por causa de la difracción, el haz colimado de ondas de luz de un láser debe finalmente divergir en un rayo más amplio a una cierta distancia del emisor.

La difracción puede ser entendida a nivel fenomenológico usando el principio de Huygens, según el cual un frente de onda se puede visualizar como una sucesión de emisores puntuales, que reemiten la onda al oscilar, en respuesta a ella y contribuyen así a su propagación. Aunque cada oscilador individual genera una onda esférica, la interferencia de todas ellas da lugar a una onda plana que viaja en la misma dirección que la onda inicial.

Cuando el frente de onda encuentra un obstáculo los emisores correspondientes al extremo del frente de onda obstruido no tienen otros emisores que interfieran con las ondas que ellos generan, y estas se aproximan a ondas esféricas o cilíndricas. Como consecuencia, al adoptar el frente de onda una forma redondeada en donde fue recortado, la dirección de propagación de la onda cambia, girando hacia el obstáculo.

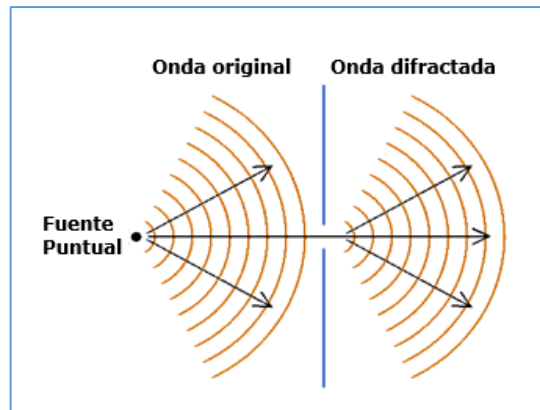


Figura 9-1 Difracción de ondas de radio

Fuente: <http://goo.gl/bdNiF8>

1.5.2.3 Refracción

La refracción se refiere al cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por lo tanto, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro con distinta densidad.

El ángulo de incidencia es llamado al ángulo que forma la onda incidente y la normal y el ángulo de refracción es el que se forma por la onda propagada en el medio y la normal, así, el índice de refracción es la relación existente entre la velocidad de propagación de la luz en el espacio vacío y la velocidad de propagación de la luz en determinado material.

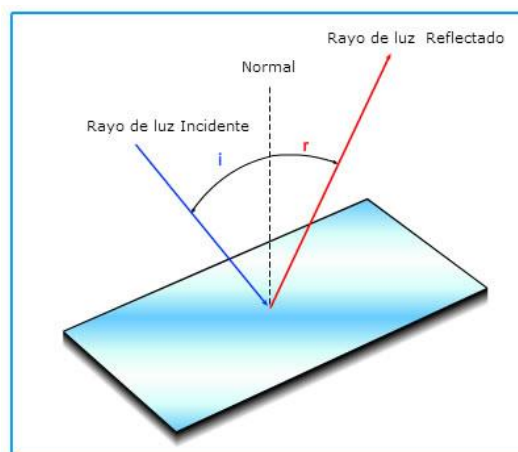


Figura 10-1 Fenómeno de refracción

Fuente: http://www.portaleducativo.net/biblioteca/reflexion_luz.jpg

1.5.2.4 Absorción

La causa de la absorción de las ondas electromagnéticas al viajar por el aire es que el aire no es un vacío, sino que está formado por átomos y moléculas de distintas sustancias gaseosas, líquidas y sólidas. Estos materiales pueden absorber a las ondas electromagnéticas causando pérdidas por absorción. Cuando la onda electromagnética se propaga a través de la atmósfera terrestre, se transfiere energía de la onda a los átomos y moléculas atmosféricos.

La absorción de onda por la atmósfera es análoga a una pérdida de potencia. Una vez absorbida, la energía se pierde para siempre, lo que provoca una atenuación de las intensidades de voltaje y campo magnético al igual que una reducción correspondiente en la densidad de potencia.

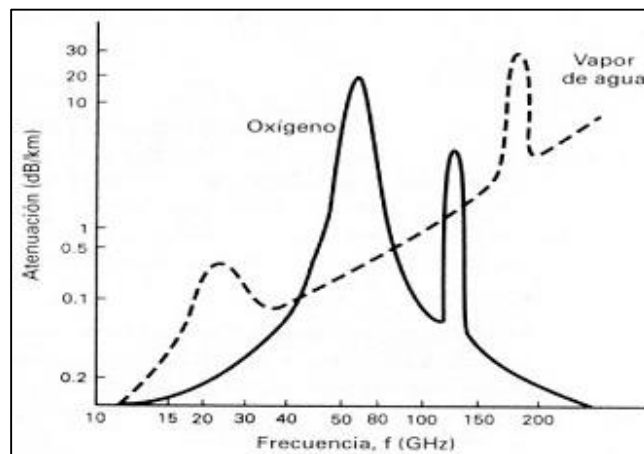


Figura 11-1 Absorción de ondas de radio.

Fuente: <http://goo.gl/YFzzXe>

1.5.3 Modelo de propagación en el espacio libre.

Es utilizado para predecir la señal transmitida entre emisor y receptor cuando éstos tienen línea de vista directa. Los sistemas de telecomunicaciones que se analizan en base a este modelo son: los enlaces de microondas con línea de vista, los sistemas de comunicación satelital, entre otros. El modelo de propagación en el espacio tiene como objetivo predecir la potencia recibida, que decrece a medida de que la distancia entre las antenas transmisora y receptora aumenta, es decir, se da una relación inversamente proporcional.

La energía receptada en el espacio libre es función de la distancia, matemáticamente se describe en la ecuación 13-1.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Ecuación 13-1

Donde:

$P_r(d)$ es la potencia recibida en función de la distancia,

P_t representa la potencia transmitida,

G_t y G_r es la ganancia transmitida y recibida, respectivamente

λ^2 es la longitud de onda en metros y

L es el factor de pérdida del sistema, tiende a ser mayor que la unidad.

La ecuación que describe la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre muestra que la potencia recibida sufre un decremento en función del cuadrado de la distancia de separación entre las dos antenas, lo que implica que ésta decae con la distancia a medida de 20 dB por década (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 1994, p. 1-3)

1.5.4 Modelo de propagación de tierra plana

Este modelo de propagación es aplicable a distancias cortas para las que puede despreciarse la curvatura de la Tierra que además debe poseer un terreno liso. Para frecuencias inferiores a 150 MHz, alturas de antenas reducidas y polarización vertical, hay que tener en cuenta, además de los rayos directo y reflejado, el efecto de la onda de superficie. Esta última es dominante para frecuencias inferiores a 10 MHz, polarización vertical y terreno buen conductor, hasta el punto que posee una metodología de cálculo propia.

En la figura 12-1 se muestra el esquema de rayos correspondiente al presente modelo y los parámetros asociados: h_t y h_r , alturas de las antenas transmisora y receptora respectivamente; d , que corresponde a la distancia y ψ , ángulo de incidencia.

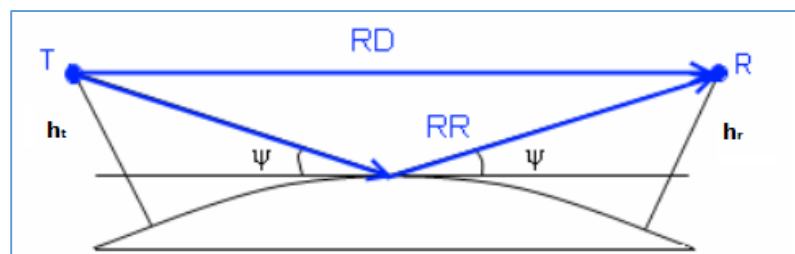


Figura 12-1 Modelo de tierra plana

Fuente: <http://goo.gl/Lj6L19>

1.5.5 Modelos electromagnéticos

Las características de radio de la propagación de los modelos electromagnéticos se pueden derivar solucionando directamente las ecuaciones de Maxwell para la propagación electromagnética.

El método que se utiliza para el modelamiento de datos es el Tiempo – Dominio de la diferencia infinita (FDTD), que es el más popular para la solución de las ecuaciones dichas ecuaciones. En este método las ecuaciones de Maxwell son aproximadas por un sistema de ecuaciones de la diferencia finita.

Los modelos FDTD exigen cálculos complicados y exactos que pueden tomar mucho tiempo de procesamiento. Los modelos electromagnéticos son considerablemente complejos y difíciles de realizar, puesto que también se debe considerar las características físicas de propagación.

1.5.6 Modelos estadísticos

Este tipo de modelos no necesitan información acerca de las paredes en las construcciones. Lo único que se requiere para los cálculos es una descripción breve del tipo de construcción, por lo cual con saber si las señales se propagan en un aula, una oficina, un hospital, un edificio, una casa, etc., es suficiente para obtener un resultado aproximado de los datos modelados.

1.5.7 Modelos empíricos de trayectoria directa

Los modelos de este tipo se encuentran basados en la trayectoria directa seguida por la onda electromagnética existente entre el transmisor y el receptor, rayos futuros no son considerados en este tipo de modelo, que constituye gran parte de la base para el diseño y caracterización de los últimos modelos desarrollados.

1.5.8 Modelos empíricos multitrayectoria

Estos modelos se basan en cálculos necesariamente realizados por elementos computacionales, es un poco más avanzado porque diferentes tipos de trayectorias son calculadas y almacenadas, por lo que se puede obtener una predicción bastante acertada de las pérdidas en interiores.

1.5.9 Modelos de rayo óptico

Los modelos de este tipo están enfocados a las bandas de frecuencia UHF, estos pueden ser descritos como modelos de propagación quasi – ópticos que consideran el fenómeno de reflexión con las paredes y el de difracción con las esquinas. Los modelos de rayo óptico están basados fundamentalmente en algoritmos creados para aplicaciones particulares.

1.5.10 Modelos de particiones en el mismo piso

Para el desarrollo de este modelo es esencial tener datos específicos de tipo de construcción de la que se requiere conocer las pérdidas, por lo que este modelo es poco útil para generalizaciones, se aplica a construcciones específicas. En este modelo solo suman las pérdidas de las mediciones tomadas y a través de esto se logra calcular las pérdidas de la construcción.

En la tabla 5-1 se pueden observar algunas mediciones hechas para diferentes materiales y ubicaciones, se detallan las pérdidas generadas por varios materiales, además la frecuencia en las que las mediciones fueron realizadas.

Tabla 5-1 Mediciones experimentales para distintos materiales

Tipo de material	Pérdida (dB)	Frecuencia (MHz)	Tipo de material	Pérdida (dB)	Frecuencia (MHz)
Aluminio	20.4	815	Maquinaria ligera	1-4	1300
Aislamiento de hoja	3.9	815	Maquinaria pesada	10-12	1300
Bloques de concreto	13	1300	Metal	26	815
Caja de metal de 4m	10-12	1300	Pared de concreto	13-20	1300
Cartón	3-6	1300	Racks metálicos	4-9	1300
Cubierta de metal	4-7	1300	Textil ligero	3-5	1300
Ducto del techo	1-8	1300	Textil pesado	8-11	1300
Escaleras	5	1300	Un piso y una pared	40-50	1300

Fuente: <http://goo.gl/EHnnsB>

Realizado por: Gabriela B. Uquillas. (Autor)

1.6 Parámetros y normas técnicas de radiodifusión sonora en frecuencia modulada.

La radiocomunicación está compuesta por procesos de emisión, propagación, y recepción de ondas electromagnéticas, cada parte de dicho proceso tiene características esenciales, parámetros y definiciones que se encuentran en el Reglamento de Radiocomunicaciones.

1.6.1 Parámetros de emisión.

Para la emisión de ondas electromagnéticas desde una antena ubicada en el transmisor se cuentan con los parámetros descritos a continuación:

1.6.1.1 Clase de emisión

Es el conjunto de características de una emisión, entre ellas tenemos: el tipo de modulación utilizada en la portadora, la naturaleza de dicha señal, el tipo de información que se transmite, entre otras. Cabe destacar, que para la clase de emisión se designa un conjunto de símbolos con el objetivo de normalizar la descripción de este proceso.

1.6.1.2 Ancho de banda necesario y ocupado

El ancho de banda necesario hace referencia a la separación de bandas de frecuencia estrictamente necesaria para que se pueda realizar una transmisión a una velocidad aceptable y con la calidad requerida; mientras que, el ancho de banda ocupado se define como la anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo del límite inferior y por encima del límite superior, se emitan potencias medias iguales a un porcentaje especificado tomando como referencia la potencia media total de la emisión.

1.6.1.3 Tolerancia de frecuencia de una emisión

Desviación máxima admisible entre la frecuencia de radio asignada y la que se encuentra en el centro de la banda de frecuencias ocupada por una emisión.

1.6.1.4 Emisiones no deseadas

Aquellas emisiones producidas a causa de imperfecciones de un equipo. Se caracterizan porque pueden controlarse, pero no suprimirse del todo. Se clasifican en emisiones no esenciales, que se producen en una o varias frecuencias inmediatamente fuera del ancho de banda necesario, y en emisiones no esenciales, que aparecen en una o varias frecuencias situadas fuera del ancho de banda necesario, por ejemplo, las emisiones armónicas y parásitas, los productos de intermodulación, entre otros.

1.6.1.5 Potencia en la cresta de la envolvente

Es la potencia media suministrada por el transmisor a la respectiva antena en condiciones normales de funcionamiento durante un ciclo de radiofrecuencia. Se toma en cuenta el valor más alto de la envolvente de modulación. Se aplica a clases de modulación de amplitud variable, como por ejemplo, banda lateral única (SSB).

1.6.1.6 Potencia media de la onda modulada

Valor de potencia media suministrado en condiciones normales, al igual que en el caso anterior, pero evaluado durante un intervalo de tiempo largo en contraste con el período de la frecuencia más baja de la señal moduladora. Se aplica a clases de modulación de amplitud constante, como la modulación de frecuencia (FM).

1.6.1.7 Potencia de portadora

Valor medio de potencia medido durante un ciclo de radiofrecuencia, en ausencia de modulación.

1.6.1.8 Polarización de una onda

La polarización es un parámetro importante que permite describir una onda de radio, se define a partir de la orientación del vector campo eléctrico, pudiendo ser ésta: horizontal, vertical y oblicua, en las que, el vector campo eléctrico se halla en un plano horizontal, vertical e inclinado 45° respecto a la horizontal, respectivamente.

1.6.2 Denominación de las emisiones.

Las emisiones de ondas electromagnéticas se denominan según los parámetros descritos anteriormente que son, la clase de emisión y el ancho de banda. Según el ancho de banda necesario la denominación de la emisión se articula por tres cifras y una letra, que ocupará la posición de una coma decimal. Se expresa como se muestra en la tabla 6-1.

Tabla 6-1 Denominación por el ancho de banda.

Límites	Letra
0,001 y 999 Hz	H
1,00 y 999 KHz	K
1,00 y 999 MHz	M
1,00 y 999 GHz	G

Fuente: RÁBANOS, Hernando, 2010 p. 27.

La clase de emisión es representada por tres símbolos, usados para describir las características más importantes de la emisión. Sin embargo, se pueden utilizar símbolos adicionales para indicar otras características. El primer símbolo representa el tipo de modulación de la portadora principal, el segundo símbolo indica la naturaleza de la señal moduladora y el tercer símbolo hace referencia al tipo de información.

Tabla 7-1 Denominación de las emisiones

Modulación		Señal Moduladora		Tipo de información	
Tipo	Símbolo	Señal	Símbolo	Tipo	Símbolo
Ninguna (Onda continua)	N	Ninguna	0	Ninguna	N
Amplitud (DSB)	A	1 canal digital	1	Datos	D
Banda lateral única	H	1 canal analógico	3	Fonía	E
Banda lateral residual	C	2 canales múltiples	8	Video	F
Frecuencia	F				

Fuente: RÁBANOS, Hernando et al. p. 32.

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

1.6.3 Parámetros de recepción.

La recolección de información requiere un proceso que garantice que el análisis consecuente se realice con los parámetros correspondientes a las mediciones de frecuencias FM presentes en el espectro radioeléctrico, para ello se utiliza los valores obtenidos de intensidad de campo o potencia recibida que se encuentren dentro de un rango definido por:

- Intensidad de campo mínima utilizable: en términos de calidad de recepción es el valor mínimo de intensidad de campo que permite obtener una lectura clara de la onda. También es llamado campo a proteger o campo mínimo necesario. Este valor mínimo no es absoluto ya que se encuentra sujeto a variaciones provocadas por la sensibilidad del receptor, el ruido presente en el espectro radioeléctrico (natural o artificial) y el rendimiento de la antena.
- Intensidad de campo utilizable: en esta intervienen en menor cantidad los efectos causados por las interferencias de otros transmisores presentes en una implementación real, como las interferencias que se encuentran dentro de la planificación. Para frecuencias inferiores a 1GHz se especifica la señal de recepción en términos de intensidad de campo eléctrico, ya que ese rango de frecuencias suelen ser empleadas para la recepción de antenas lineales, en las que la fuerza electromotriz inducida por la onda es igual al producto de la intensidad de campo incidente por la longitud efectiva de la antena. Cuando la señal recibida sobrepasa el

rango de 1GHz, a esta se le otorga la denominación de potencia recibida y se mide en dBW o dBm, también se puede medir en densidad de flujo de potencia.

- Condiciones de recepción: en la planificación de un proyecto radioeléctrico se han determinado condiciones próximas a un funcionamiento ideal y para ello estas deben cumplir con características específicas que dependen principalmente de: el tipo de transmisión, la banda de frecuencia, la instalación de recepción, condiciones de explotación (zona hora época del año), etc.
- Interferencias: se entiende como interferencia en radiocomunicaciones al efecto producido por la energía emanada de una o varias ondas transmitidas a la vez mientras estas se encuentran ocupando el mismo espacio al mismo tiempo. Esta interferencia se manifiesta como degradación de la calidad de la señal, falseamiento o pérdida de la información e incluso inserción de ruido en la señal. Este aspecto es de vital importancia ya que es materia de interés para las transmisiones radioeléctricas, con el objetivo de hallar la manera de blindar las señales transmitidas a través del espectro radioeléctrico debido a la congestión del mismo.
- Relación de protección en RF: Cuando se expresa una relación entre la señal deseada y la señal no deseada (interferencia) a la entrada del dispositivo receptor, determinada bajo condiciones concretas que permiten obtener una calidad de señal especificada en la entrada del receptor, esta relación define como el valor mínimo de protección. (Rábanos, 2010, p. 38-39)

1.6.4 Atribución de una banda de frecuencia

Según el Plan Nacional de Frecuencias presentado por la Agencia de Regulación de Telecomunicaciones la atribución de una banda de frecuencia es la inscripción en el Cuadro de Atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios servicios de radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía en condiciones especificadas. Este término se aplica también a la banda de frecuencias considerada.

1.6.5 Regulación del uso del espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico y las órbitas de los satélites constituyen, recursos naturales comunes, es decir, el acceso a ellos es compartido, esta situación, plantea un inconveniente, al que Hardin

Garrett llamó «La tragedia de los comunes», concepto con el cual demuestra, que el acceso libre y sin reglamentar a un recurso limitado origina una serie de problemas entre los usuarios, sobre todo, cuando el número de usuarios de dicho recurso rebasa ciertos límites.

Esta ha sido la concepción inicial sobre la cual los Estados han ejercido una acción reguladora, para reglamentar el uso del espectro radioeléctrico, pero con la incesante evolución de la tecnología, ha sido posible utilizar el espectro cada vez con mayor intensidad y en una variedad de servicios, en el objetivo de satisfacer las múltiples necesidades de comunicaciones que demanda la sociedad.

El espectro radioeléctrico se ha convertido en un recurso esencial para la provisión de servicios y operación de redes, que en el tiempo, desde el inicio y en sentido cronológico, ha sido objeto de regulación, para ordenar las emisiones de radiodifusión y, posteriormente, como parte de redes de telecomunicaciones, para la prestación de servicios de interés público, pero, finalmente, y, con mayor razón, porque el espectro radioeléctrico, hoy es utilizado con fines públicos y privados y es parte de las comunicaciones de distinta naturaleza, gracias al perfeccionamiento de la tecnología, que utiliza el espectro radioeléctrico más eficientemente, volviéndolo un recurso natural limitado, en contraposición a la concepción tradicional, de recurso natural escaso.

Históricamente, el espectro radioeléctrico ha sido utilizado como recurso escaso, designando únicamente un determinado rango de frecuencias a un servicio específico y en un área geográfica definida, evitando, a través de este mecanismo, la existencia de interferencias perjudiciales entre sistemas.

Se evidencia una rigidez en la atribución de bandas a servicios y tecnologías puntuales, que en algunos casos, la obsolescencia de los servicios y tecnologías, ha originado una falsa escasez de espectro, ya que se identifican porciones reservadas de espectro, que bien podrían facilitar la introducción de nuevos servicios.

Actualmente, adquiere sentido el considerar al espectro radioeléctrico como un recurso limitado, pues a pesar del incremento de la demanda que se sustenta en el desarrollo tecnológico, se ofrecen diferentes e innovadores servicios, en nuevas bandas de frecuencias y en otros casos, un uso más eficiente del espectro, como el de la televisión digital, o la compartición de distintos servicios en una misma banda de frecuencias, cuyo claro ejemplo constituyen, la tecnología de

banda ultra ancha, o los sistemas de radio inteligente que asignan el espectro de modo dinámico, seleccionando bandas no utilizadas al momento de la transmisión. (Llanos, 2013 p. 17-18)

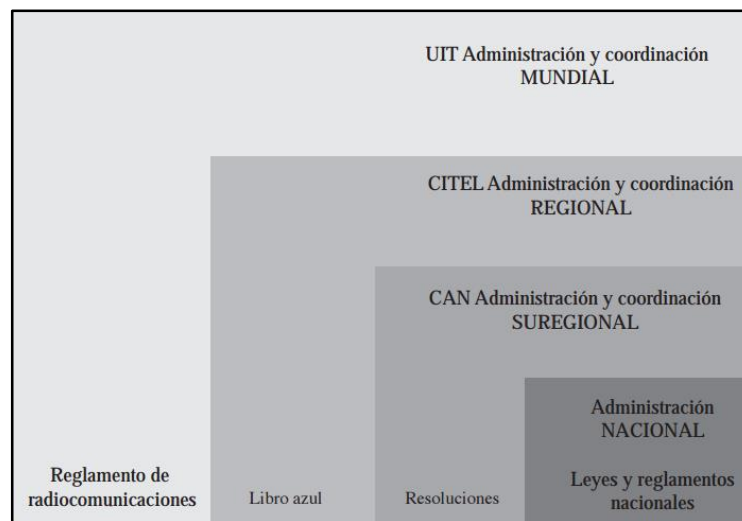


Figura 13-1 Regulación Jerárquica del espectro radioeléctrico

Fuente: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3833/1/SM138-Llanos-Gestion.pdf>

1.6.6 Gestión del espectro radioeléctrico.

La tecnología cada vez más desarrollada y más creativamente innovada hace posible que la sociedad haga un uso más intensivo de las radiocomunicaciones, consiguiendo mayores y mejores posibilidades de desarrollo, en los ámbitos cultural, social, político y económico.

Las radiocomunicaciones que se basan en la explotación del recurso natural, espectro radioeléctrico, para prestar un considerable número de servicios requieren la disponibilidad del mismo, libre de interferencias perjudiciales, a fin de que el usuario final disfrute de comunicaciones, eficientes, efectivas, eficaces y oportunas.

El mecanismo para conseguir este propósito constituye la gestión nacional del espectro radioeléctrico, una labor esencialmente estatal, definida como la estructura y la combinación de procedimientos administrativos, científicos y técnicos necesarios para garantizar una explotación eficaz del equipo y los servicios de radiocomunicaciones sin producir interferencia perjudicial dentro de su territorio.

Sin embargo, es necesario recalcar que usualmente las políticas estatales siguen la guía de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), cuyos objetivos principales son mantener y ampliar la coordinación internacional entre todos los miembros de la Unión para el

mejoramiento y el empleo racional de toda clase de telecomunicaciones. La UIT, atribuye las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico y adjudica las frecuencias radioeléctricas, llevando un registro de las asignaciones, así como de las posiciones orbitales asociadas en la órbita de los satélites geoestacionarios y no geoestacionarios, a fin de evitar interferencias perjudiciales entre estaciones de radiocomunicaciones.

Los gobiernos con el ejercicio de su soberanía sobre el uso del espectro radioeléctrico, desarrollan la reglamentación, leyes y organización necesaria para llevar a cabo las tareas propias de la gestión del espectro radioeléctrico, las que son asumidas y ejecutadas por un organismo nacional, con una clara definición de responsabilidades funcionales realizadas en procesos esenciales, reconocidos por la mayoría de los países. (Llanos, 2013 p. 20-23)

1.7 Radioenlace terrestre

Un radioenlace terrestre hace referencia a la interconexión mediante ondas de radio entre dos terminales ya sean fijos o móviles situados en la Tierra. El término radioenlaces de microondas se acuñó debido a las frecuencias de operación, que se encuentran entre 2 y 50 GHz. Para el análisis y estudio de los radioenlaces terrestres se asume que la trayectoria seguida por una onda está llena de obstáculos como, edificaciones, accidentes geográficos, árboles, además se debe considerar la curvatura de la Tierra.

1.7.1 Presupuesto de potencia de enlace.

El presupuesto de potencia para un enlace punto a punto tiene como objeto predecir teóricamente la potencia de la onda de radio al ser receptada. Esta técnica consiste en el cálculo de ganancias y pérdidas desde la fuente de la señal o emisor, a través de cables, conectores y espacio libre hacia el radiorreceptor. La elaboración de este presupuesto es necesaria y fundamental para hacer un buen diseño del radioenlace, así como para elegir el equipo adecuado.

El cálculo de este presupuesto se realiza sumando las pérdidas y restando las ganancias, con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable Tx [dB]} + \text{Ganancia de antena Tx [dBi]} - \text{Pérdidas en el espacio libre [dB]} + \text{Ganancia de la antena Rx [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable Rx [dB]} = \text{Margen} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]}$$

Ecuación 14–1

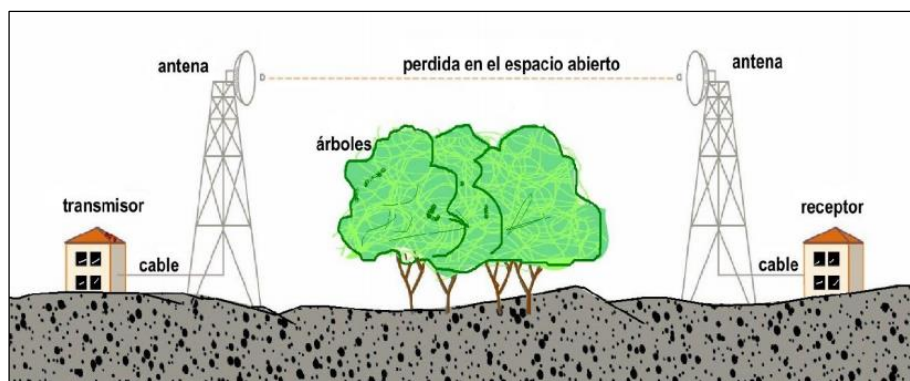


Figura 14-1 Trayectoria de una onda de radio entre transmisor y receptor.

Fuente: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf

Para el análisis del presupuesto de enlace se hace uso de la ley del cuadrado inverso, que indica que la potencia de la señal es menor a medida que ésta se aleja de la antena transmisora. En la figura 15-1 se diagraman los elementos presentes en un presupuesto de enlace, así como también una onda que disminuye de manera exponencial para representar la potencia de la señal en base a la distancia.

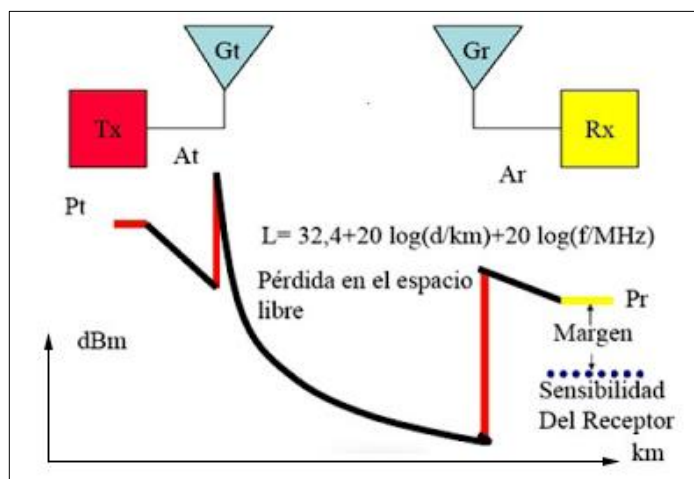


Figura 15-1 Elementos del presupuesto de potencia de enlace.

Fuente: <https://goo.gl/jDKVNB>

En el caso de que la potencia entre emisor y receptor no es la misma, se debe realizar el presupuesto de enlace en el sentido emisor-receptor y viceversa, con el propósito de que el enlace se establezca de manera efectiva.

1.7.2 Pérdida en el cable.

Uno de los elementos principales presentes en los enlaces de radio son los cables de conexión entre emisor, receptor y sus respectivas antenas, éstos introducen también pérdidas en el

sistema, que van a depender del tipo de cable y la frecuencia de operación del mismo, la atenuación se mide en dB/m.

Independientemente de la calidad del cable, éste siempre sufrirá atenuaciones, por lo que se recomienda que su longitud para interconectar dispositivos sea la mínima posible. La atenuación típica en los cables está en el rango de 0,1 dB/m a 1 dB/m, en general, mientras el cable sea más rígido y grueso, presentará menor atenuación.

La pérdida en los cables es dependiente de la frecuencia de operación del radioenlace, por lo tanto, para realizar el cálculo exacto de dicha atenuación se debe usar la hoja de datos específicos de cada cable, considerando el rango de frecuencia utilizado.

Tabla 8-1 Valores típicos de pérdida en los cables para la banda FM.

Tipo de cable	Pérdida	
	Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100 m)
RG-6	50	4,8
	200	9,7
T-100	200	8
LMR-500	50	2,7
	150	4,8
Belden 8212	50	6,8901
	100	9,843
Helix 7/8"	88	1,12
	100	1,19
	108	1,24
LDF 6-50	88	0,741
	100	0,793
	108	0,826

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 216

Fuente: <http://goo.gl/2sPUfT>

1.7.3 Pérdida en los conectores.

Los conectores son elementos indispensables para los radioenlaces, pues permiten interconectar dispositivos y antenas en el radioenlace. La pérdida introducida por el conector va a depender del tipo de soldadura del mismo, se sugiere estimar al menos 0,25 dB de pérdida por cada conector presente en el radioenlace, sin embargo, se pueden generar pérdidas mayores

dependiendo del tipo de conector, por lo que es aconsejable revisar la hoja de datos para las pérdidas en el rango y frecuencia adecuada.

En el caso de que se utilicen cables largos, se van a necesitar más conectores, la suma de las pérdidas en los conectores van a estar incluidas en una parte de la ecuación de pérdidas de los cables, por lo que se debe considerar pérdidas por conectores individuales en el rango de 0,3 a 0,5 dB.

1.7.4 *Línea de vista y multitrayectoria.*

Se dice que hay línea de vista cuando no existen obstáculos entre el transmisor y receptor, es decir, existe una ruta directa. Al no existir esta llamada línea de vista, lo que se tiene es una trayectoria múltiple. En una transmisión la señal sufre efectos como difracción, refracción, reflexión y dispersión, mismos que provocan que la comunicación entre los extremos se llegue a completar cuando la onda complete diferentes trayectorias.

La línea de vista se puede lograr siempre y cuando se tenga libertad en cuanto a la colocación de las antenas, se las puede colocar de tal manera que, si no existen obstáculos cercanos, se tenga una vista directa entre transmisor y receptor, por ejemplo, los sistemas satelitales y enlaces de microonda punto – punto.

En sistema móviles existe gran cantidad de obstáculos, por lo que la señal de radio frecuencia puede ser reflejada provocando que se tengan múltiples copias de la misma pero con retardos variables al momento de la recepción.

Dependiendo de la diferencia en las longitudes de los caminos seguidos por las ondas directa y reflejadas, la señal compuesta resultante en el receptor puede ser más pequeña o más grande que la señal directa, dentro de este caso, se pueden encontrar sistemas de microonda fija por la refracción en la atmósfera y reflexión en la tierra, así como los sistemas de comunicaciones móviles. (Bernal, 2015), p. 25-26.

1.8 Antenas

Las antenas son dispositivos utilizado para transformar una señal de RF que viaja en un conductor, en una onda electromagnética en el espacio abierto. Las antenas poseen una propiedad conocida como reciprocidad, lo cual significa que una antena va a mantener las

mismas características sin importar si está interviniendo como transmisora o receptora en el proceso de comunicación.

La mayoría de las antenas son dispositivos resonantes, que operan eficientemente sólo en una banda de frecuencia relativamente baja. Una antena debe ser sintonizada en la misma banda que el sistema de radio al que está conectada, para no afectar la recepción y transmisión.

1.8.1 Antena isotrópica

Es aquella que irradia o recibe ondas electromagnéticas en todas las direcciones con una misma intensidad, este concepto es físicamente irrealizable, pero sirve como punto de comparación para las antenas reales. La característica esencial de la antena isotrópica es su patrón de radiación, que es una esfera debido a que la irradiación se da con igual eficacia en todas las direcciones.

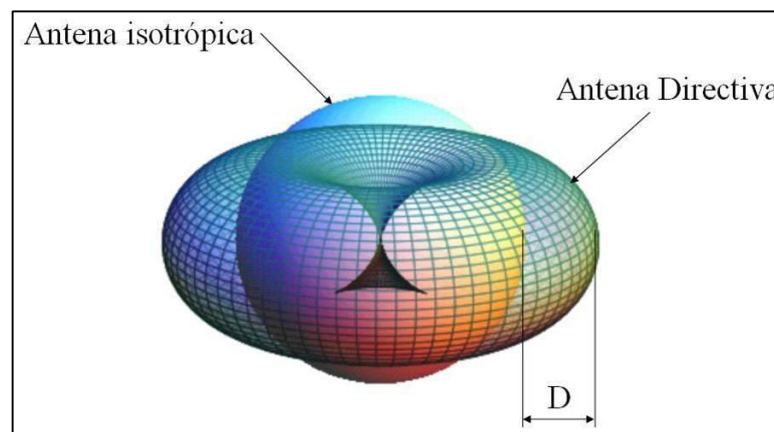


Figura 16-1 Patrón de radiación de antena isotrópica y direccional

Fuente: <https://goo.gl/Z5f2sT>

1.8.2 Características de las antenas

1.8.2.1 Ganancia de la antena

La ganancia de la antena se expresa en dBi o dBd dependiendo si la potencia medida es isotrópica radiada equivalente o efectiva radiada, respectivamente. Este valor varía típicamente entre 2 y 8 dBi hasta 21 y 30 dBi, sin embargo, hay que tener en cuenta que hay varios factores que disminuyen esta ganancia teórica de la antena. Las pérdidas frecuentemente pueden ocurrir por una instalación incorrecta de las antenas, como en su inclinación, polarización, objetos metálicos adyacentes, etc.

El cociente entre la cantidad de energía irradiada en una dirección específica y la irradiada por una antena isotrópica alimentada por el mismo equipo transmisor se conoce como la ganancia de una antena dada, este número se expresa en decibelios con respecto a una antena isotrópica y se denota en dBi.

Las antenas para radioenlaces no son diseñadas para propagar energía en todas las direcciones, sino que se diseñan y construyen para dirigir las ondas electromagnéticas en un área específica a la que se planea proveer de cobertura. La ganancia de la antena se relaciona con la directividad de la misma en comparación con una antena isotrópica, por lo tanto, entre más directiva sea la antena, tendrá más ganancia y el ancho de haz será más angosto.

Como se sabe, las antenas son elementos pasivos, incapaces de amplificar la señal de radio, que se encargan solamente de concentrar la señal en una sola dirección, por ejemplo, cuando se usa una antena transmisora se espera que ésta concentre la energía y envíe en dirección del receptor, mientras que si la antena está en el receptor, se encarga de recolectar la señal.

Matemáticamente, la ganancia de una antena en términos de los campos eléctricos se expresa como sigue:

$$G(\theta, \varphi) = 20 \log \left[\frac{E(\theta, \varphi)_{\text{antena}}}{E_{\text{isótropa}}} \right] \quad \text{Ecuación 15-1}$$

1.8.2.2 Directividad

La directividad de la antena es una medida de la concentración de la potencia radiada en una dirección particular. Se puede entender también como la habilidad de la antena para direccionar la energía radiada en una dirección específica.

Es usualmente una relación de intensidad de radiación en una dirección particular en comparación a la intensidad promedio isotrópica. La directividad se relaciona directamente con el patrón de radiación de la antena, ya que, mientras menos lóbulos secundarios se aprecien en este diagrama, la antena tiende a ser más directiva.



Figura 17-1 Directividad según el tipo de antena

Fuente: <https://ingjeyd.files.wordpress.com/2011/06/iso.jpg>

1.8.2.3 Patrón de radiación

El patrón de radiación es una representación gráfica en dos o tres dimensiones de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. En el diagrama de radiación se puede apreciar la ubicación de los lóbulos laterales y traseros, los puntos en los cuales no se irradia potencia, conocidos como nulos, y adicionalmente los puntos de potencia media.

El objetivo de construir un patrón de radiación es reducir al mínimo los lóbulos secundarios, laterales y traseros ya que generalmente son perjudiciales, esto se logra mediante la modificación de la geometría de la antena. Desde el punto de vista formal, el campo electromagnético producido por una antena a gran distancia corresponde a la transformada de Fourier en dos dimensiones de la distribución de cargas eléctricas en la antena.

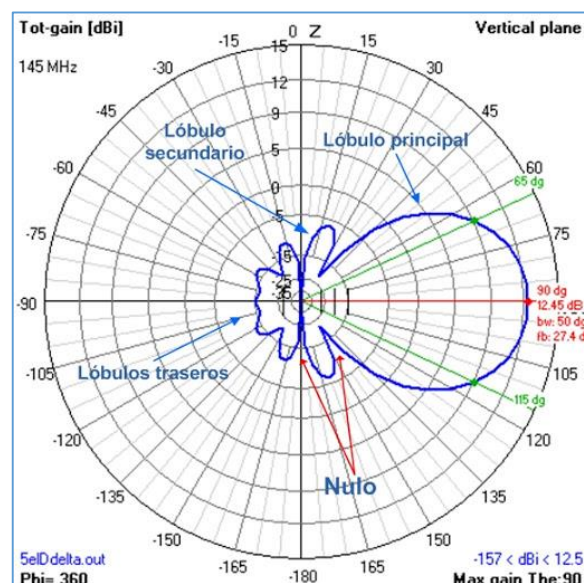


Figura 18-1 Diagrama de radiación de una antena.

Fuente: <http://goo.gl/IwXuq5>

1.8.2.4 Polarización

La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse. Hay una serie de casos particulares. Si la figura trazada es una recta, la onda se denomina linealmente polarizada, si es un círculo, se llama circularmente polarizada.

El sentido de giro del campo eléctrico, para una onda que se aleja del observador, determina si la onda está polarizada circularmente a derechas o a izquierda. Si el sentido de giro coincide con las agujas del reloj, la polarización es circular a derechas. Si el sentido de giro es contrario a las agujas del reloj, la polarización es circular a izquierdas.

El mismo convenio aplica a las ondas con polarización elíptica. Se define la relación axial de una onda polarizada elípticamente, como la relación entre los ejes mayor y menor de la elipse de polarización. La relación axial toma valores comprendidos entre 1 e infinito (Polarización, s.f), p. 1.

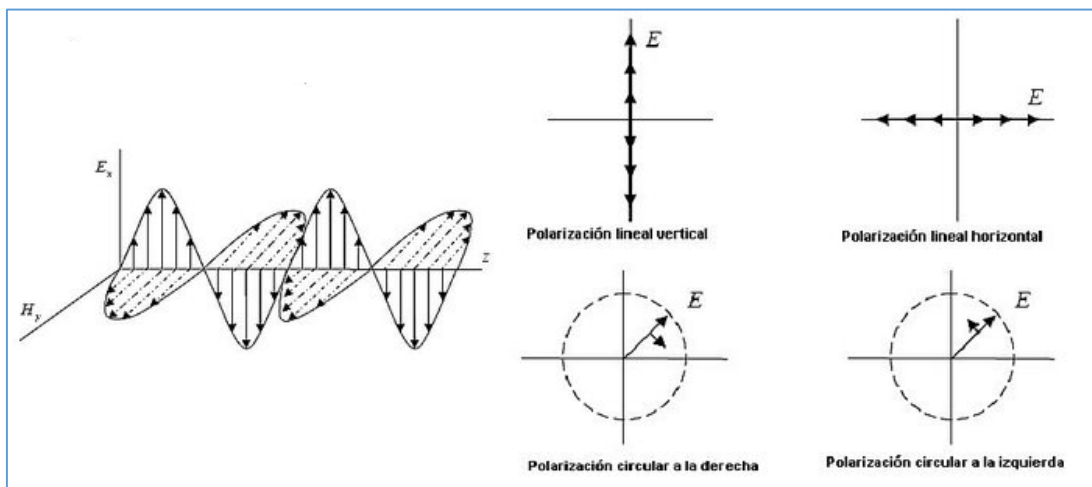


Figura 19-1 Tipos de polarización de una antena

Fuente: <http://k04.kn3.net/AD9D6BBE6.jpg>

1.8.2.5 Ancho de banda

El ancho de banda de una antena se define como el rango de frecuencias dentro del cual el funcionamiento de la antena con respecto a una característica se ajusta o se cumple con un estándar especificado, también puede ser considerado como el rango de frecuencias, a ambos lados de una frecuencia central (frecuencia de resonancia), donde las características de la antena están dentro de un valor aceptable de los asignados de la frecuencia principal.

Para antenas de banda ancha, el ancho de banda se expresa como la razón entre la frecuencia superior e inferior, además este parámetro está asociado a la ganancia, nivel de lóbulo lateral, ancho de haz, polarización, dirección del haz, etc. (banda, s.f, p. 4-5)

1.8.2.6 *Potencia efectiva radiada.*

En la Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada la Potencia Efectiva Radiada (PER) será determinada en vatios (watts) sobre la base de la aplicación de la relación matemática siguiente:

$$PER(kW) = P_T(kW) \cdot 10^{\left[\frac{G(dBd) - Pérdidas(dB)}{10} \right]} \quad \text{Ecuación 16 – 1}$$

Donde:

$P_T(kW)$ es la potencia de salida del transmisor.

$G(dBd)$ es la ganancia del arreglo del sistema radiante

$Pérdidas(dB)$ correspondientes a líneas de transmisión, conectores, entorno, etc.

Esta potencia será la necesaria para garantizar los niveles de intensidad de campo establecidos en el Ecuador, que para estaciones de potencia normales y locales en el borde del área de cobertura principal es mayor a 54 dBμV/m, mientras que en el borde del área de cobertura secundaria, para estereofónicos es mayor a 50 dBμV/m y menor a 54 dBμV/m. (ARCOTEL, 2015, p. 5-6)

1.8.3 *Antenas para la radiodifusión*

Uno de los retos más desafiantes para los sistemas de radiodifusión actual es que necesitan abarcar una amplia zona de cobertura, propósito que se puede conseguir empleando transmisores de alta potencia junto a sistemas radiantes adaptados. En su gran mayoría, los elementos de radiación se componen de diversas antenas básicas que se agrupan en arreglos unidimensionales para conformar un determinado diagrama de radiación, generalmente de tipo omnidireccional, y se colocan en torres de comunicaciones o mástiles elevados para conseguir buena visibilidad y grandes alcances.

Para los enlaces punto a punto normalmente se emplean reflectores parabólicos en ambos extremos, mientras que para los enlaces punto – multipunto los elementos radiantes se construyen fundamentalmente a partir de antenas de tipo dipolo en diversas configuraciones. Es por ello por lo que resulta habitual expresar la ganancia del conjunto en términos de la ganancia de un dipolo en $\lambda/2$, por lo que resulta esencial conocer los tipos de antenas utilizados comúnmente en la radiodifusión.

1.8.3.1 Antena dipolo

Es el modelo más simple de una antena que se puede construir en el campo práctico. Consiste en dos cables colocados en un mismo eje a una distancia corta. Los cables son alimentados por una fuente de tipo sinusoidal por un extremo (el más cercano al otro cable), y el otro extremo queda libre, tal como sucede en las televisiones analógicas convencionales. Ésta configuración hace que las distribuciones de corriente sean idénticas en ambos cables, por lo que los campos generados se refuerzan entre ellos.

Las antenas dipolo son omnidireccionales, su diagrama de radiación tiene la forma de una dona hueca en el centro, en donde los cables se encuentran en el eje donde no se genera radiación. Una de las ventajas más notables de las antenas dipolo es que son de fácil construcción y bajo costo. Generalmente se utilizan en dispositivos simples, donde no se necesita de una ganancia muy alta, por ejemplo en los equipos de radiodifusión en frecuencia modulada, teléfonos inalámbricos, módems, routers, etc.

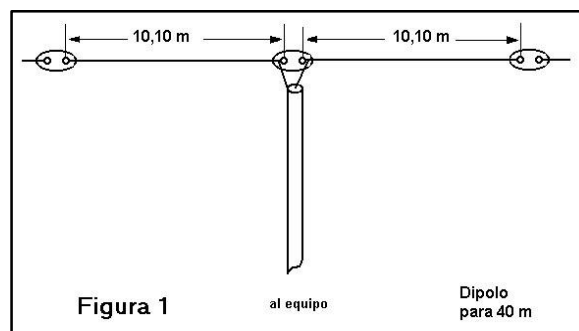


Figura 20-1 Antena dipolo.

Fuente: http://www.fediea.org/digiclub/dipolo_esquema.jpg

Una de las configuraciones más utilizadas de éstas antenas, es en dipolo en V, que posee polarización circular y es utilizado básicamente para radiodifusión en frecuencia modulada (88-108 MHz). Sin embargo, Su ancho de banda está limitado a unos 5 MHz. Pueden emplearse con potencias elevadas, por encima de 5 kW.

Para configurar el diagrama deseado se suelen colocar en configuraciones en arrays, también pueden instalarse reflectores para mejorar la ganancia en una determinada dirección de propagación. Dado que operan a frecuencias bajas, los reflectores pueden construirse mediante rejillas que además reducen la carga del viento.

1.8.3.2 Antena colineal

La característica fundamental de este tipo de antenas es su diagrama de radiación omnidireccional (360°), por lo que constituyen una opción adecuada para sistemas de radiodifusión. Son fáciles de montar, tienen bajo coste y ocupan poco espacio, aunque como desventaja poseen baja ganancia (en torno a 3-8 dBd en UHF para longitudes de 1 a 4 metros). Su ancho de banda no es muy grande, pero suelen cubrir fácilmente cuatro canales de TV UHF consecutivos. Las potencias de entrada están limitadas a unos 250 W.



Figura 21-1 Antena colineal.

Fuente: <http://www.radioenlaces.es/content/uploads/2011/10/antena-colineal.jpg>

1.8.3.3 Dipolo de alta potencia

El dipolo de alta potencia es una antena elemental utilizada en los sistemas de radiodifusión, una de sus ventajas más votables es su diagrama de radiación omnidireccional. Normalmente, agrupando varios de éstos en configuraciones en array se consigue el diagrama de radiación deseado, a la vez que se reduce la potencia de alimentación de cada uno de los dipolos individuales.

Para los casos especiales en donde se necesiten potencias más elevadas, la alternativa por la que se puede optar es aumentar la sección cruzada o superficie de los elementos conductores, pudiendo alimentarse con potencias de hasta 5 kW.

Como antena elemental, su ganancia oscila a valores cercanos a 0 dBd, pero puede aumentarse teóricamente a 3 o 6 dBd en arreglos de 2 o 4 dipolos, respectivamente. Esta antena constituye una opción tanto para sistemas analógicos como para emisiones de radio digital DAB (Digital Audio Broadcasting), de hecho, empleando elementos sintonizados pueden obtenerse anchos de banda de 50 MHz.

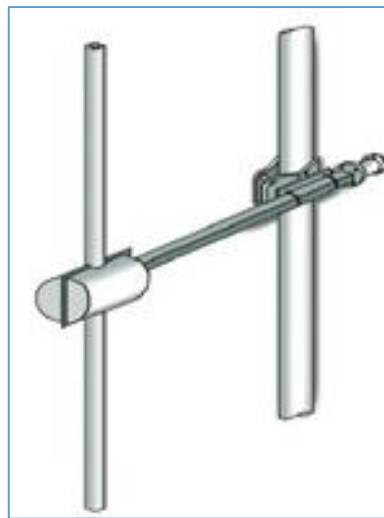


Figura 22-1 Dipolo de alta potencia.

Fuente: <http://goo.gl/YdT29E>

1.8.3.4 Antena Yagi-Uda

Esta antena consiste en un arreglo de antenas dipolo, que puede variar de 3 a 20, colocadas horizontalmente en un mismo plano y todas paralelas entre sí. Generalmente, todas las antenas son de la misma longitud, a excepción de una en cualquiera de los puntos extremos, que se caracteriza por ser ligeramente más larga, conocida como reflector.

En la antena Yagi-Uda solo un dipolo es alimentado con corriente, el que es más cercano al reflector. A los otros dipolos se les llama directores y se colocan con el objetivo de amplificar y dar dirección a la radiación.

El reflector, al tener una longitud mayor, produce un retraso en la corriente que implica que su señal transmitida presenta un retardo en relación a los otros dipolos, por lo que la señal total se anula en dirección del reflector.

Se utiliza precisamente esta disposición de los dipolos para conseguir una antena direccional y con mayor ganancia. La antena Yagi-Uda fue inventada en 1926 por el japonés Shintaro Uda, se utilizó ampliamente en la II Guerra Mundial para la comunicación y actualmente no cuenta con muchas aplicaciones industriales, pero es ampliamente utilizada para servicios de radiodifusión.

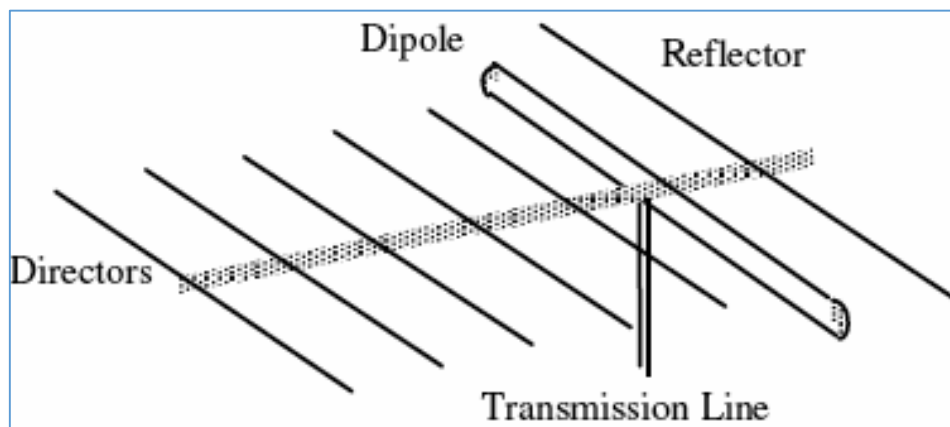


Figura 23-1 Antena Yagi-Uda

Fuente: https://qph.is.quoracdn.net/main-qimg-b56884c836f6fbe71a04e95518c0091f?convert_to_webp=true

1.8.3.5 Antenas de polarización circular

Otro tipo de antenas más utilizadas para la radiodifusión en frecuencia modulada son las de polarización circular, que están diseñadas para mantener una potencia continua, están constituidas de acero inoxidable, lo que garantiza la inalterabilidad de las características de estos dispositivos.

Se recomienda utilizar este tipo de antenas para los enlaces de radio en condiciones atmosféricas extremas. En el mercado existe una gran disponibilidad de antenas de polarización circular, los modelos y características están enlistados en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3 Especificaciones técnicas de antenas de polarización circular

Características generales	Modelo de antena					
	MP		GP		SGP	
Rango de frecuencia	87,5 – 108 MHz		87,5 – 108 MHz		87,5 – 108 MHz	
Impedancia	50 Ohm		50 Ohm		50 Ohm	
Potencia máxima	500 W		1,5 kW		4 kW	
Polarización	Circular a derecha		Circular a derecha		Circular a derecha	
Conector de entrada	N (H)		EIA 7/8"		EIA 7/8"	
Peso	3,9 kg		4,2 kg		5 kg	
Protección a descargas eléctricas	Tierra		Tierra		Tierra	
Montaje	Tubo de 1-3"		Tubo de 1-3"		Tubo de 1-3"	
Material	Acero inoxidable		Acero inoxidable		Acero inoxidable	
Roe Típico	1.10:1		1.10:1		1.09:1	
Configuraciones (modelo+potencia)	MP-1	600 W	GP-1	1,5 kW	SGP-1	4 kW
	MP-2	800 W	GP-2	3 kW	SGP-2	4 kW
	MP-2R	1,2 kW	GP-4	4 kW	SGP-2R	8 kW
	MP-4	800 W	GP-4R	6 kW	SGP-4	5 kW
	MP-4S	1,5 kW	GP-6	8 kW	SGP-4R	8 kW
	MP-4R	2,4 kW			SGP-4S	14 kW
	MP-6R	3 kW			SGP-6	8 kW
					SGP-6R	15/20 kW 30 kW

Fuente: http://www.omb.com/sites/default/files/SGP-1_0.pdf

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

1.8.4 Región de Fraunhofer (Campo lejano)

La definición y estudio de la región de Fraunhofer es importante, debido a que en esta zona, se determina el patrón de radiación de la antena, sobretodo, de las que se utilizan para llevar a cabo una comunicación inalámbrica desde largas distancias, ésta es usualmente la región de operación de la mayoría de antenas.

La región de Fraunhofer es aquella que se encuentra en el extremo de la antena, una de sus características esenciales es que los campos eléctrico y magnético son ortogonales entre sí y la dirección de propagación es semejante a la de las ondas planas. Si la mayor dimensión lineal de una antena es D , entonces la región de Fraunhofer matemáticamente se define en la ecuación 17-1.

$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Ecuación 17 – 1

Donde D es la máxima dimensión lineal de la antena, R es la distancia de la región de Fraunhofer y λ hace referencia a la longitud de onda.

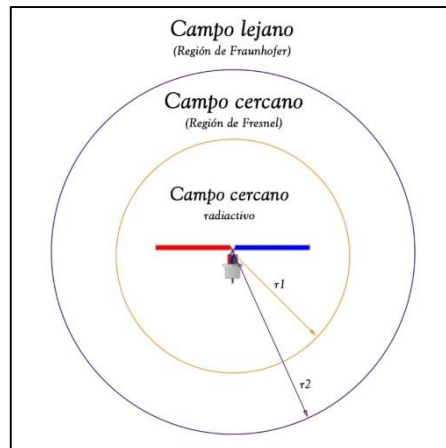


Figura 24-1 Región de Fraunhofer y Fresnel

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

1.8.5 *Región de Fresnel*

Es una región intermedia entre el campo de inducción y el de radiación. A diferencia del campo lejano, la región de Fresnel se genera en las proximidades de la antena transmisora, en esta región predominan los campos de radiación, es decir, el campo eléctrico y magnético tienen un desfase de 90 grados. El límite de esta región comúnmente se define en la ecuación 18-1.

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

Ecuación 18 – 1

En esta zona, los campos dependen de forma estacionaria de la distribución de cargas y corrientes en el sistema radiante. Durante la mitad de un ciclo la potencia se irradia desde la antena y se almacena en el campo cercano, mientras que, durante la segunda mitad del ciclo, la potencia regresa desde el campo cercano a la antena.

En la figura 25-1 se nota gráficamente la diferencia entre la región de Fresnel y la región de Fraunhofer, que está dada por la distancia de la antena a la cual estas zonas se generan, es

esencial conocerlas debido a que a partir de ellas se generan los distintos patrones de radiación de las antenas transmisoras y receptoras.

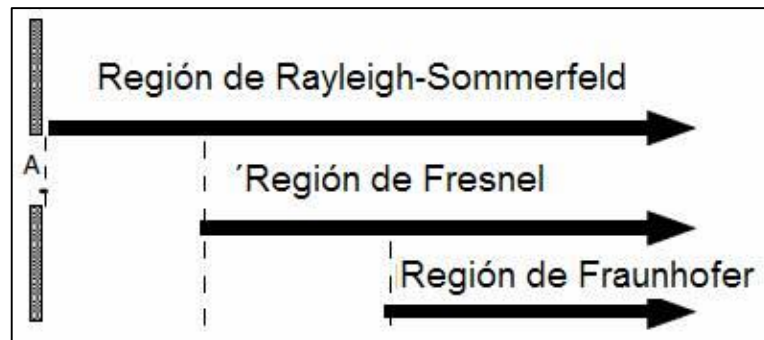


Figura 25-1 Regiones de difracción

Fuente: <http://goo.gl/ma9yhb>

Tomando como base el principio de Huygens, se puede investigar y calcular cuál debería ser la máxima penetración de un obstáculo, por ejemplo, una edificación, en la zona de Fresnel para lograr un enlace efectivo entre emisor y receptor. Idealmente se requiere que la primera zona de Fresnel no esté obstruida, o en su defecto que el equivalente al 60% de esta primera región esté despejado para garantizar un enlace de calidad.

En aplicaciones críticas se requiere hacer un análisis extensivo para detectar anomalías en la propagación de las ondas electromagnéticas que se pueden curvar hacia arriba, por lo que se deberá planificar una mayor altura en las torres.

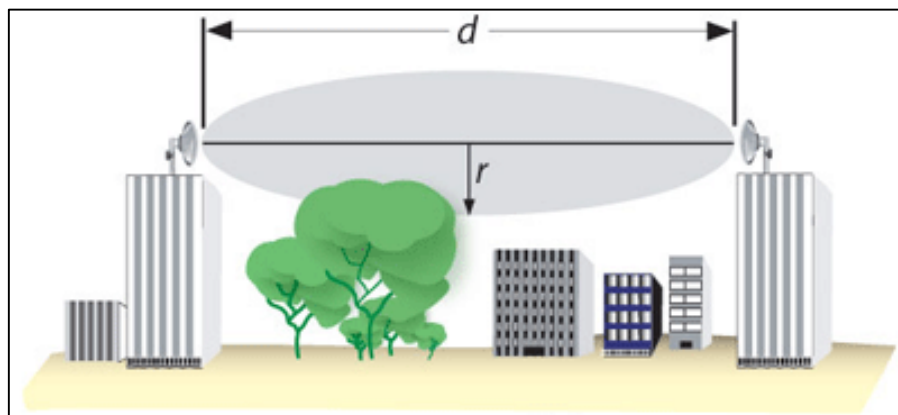


Figura 26-1 Zona de Fresnel

Fuente: http://3.bp.blogspot.com/-qo214HbhSHg/UfqjHaEHxiI/AAAAAAAAABXg/2qXiv_RMdPY/s1600/fresnel.gif

Para calcular la Zona de Fresnel se tiene la fórmula 19-1, donde d_1 y d_2 representan distancias medidas en kilómetros desde el obstáculo hasta el transmisor y desde el obstáculo al receptor,

respectivamente, d es la distancia directa entre emisor y receptor en kilómetros, f representa la frecuencia expresada en GHz y finalmente r es el radio, expresado en metros.

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d_1.d_2}{d.f}} \quad \text{Ecuación 19 – 1}$$

En caso de que el obstáculo esté situado en la mitad de la distancia entre emisor y receptor la fórmula descrita anteriormente se simplifica, dando como resultado:

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d}{4f}} \quad \text{Ecuación 20 – 1}$$

Pero en base a la descripción anterior se conoce que con el 60% de la primera zona de Fresnel el radioenlace tendrá éxito, por lo que la fórmula se reduce a su mínima expresión y se presenta en la ecuación 21-1.

$$0,6r = 5,2 * \sqrt{\frac{d}{f}} \quad \text{Ecuación 21 – 1}$$

1.8.6 *Sensibilidad del receptor*

La sensibilidad del receptor es un parámetro que permite identificar el valor mínimo de potencia necesaria para poder decodificar o extraer bits lógicos y alcanzar una cierta tasa de bits. Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del equipo de radio, entre los valores típicos de sensibilidad están -82 dBm para enlaces de 11 Mbps y -94 para enlaces de 1 Mbps.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

En el capítulo segundo, se define la configuración de los parámetros más relevantes del analizador de espectro, como el ancho de banda de la resolución, la atenuación, el nivel de referencia, la escala y el rango, dependiendo del tipo de medición que se realice, con el objetivo de obtener datos reales de la potencia de las ondas de radio emitidas en la ciudad de Riobamba por las diferentes emisoras en frecuencia modulada. Además, se desarrolla un protocolo de medición de potencia para dichas señales.

Además, a partir de las mediciones obtenidas, se realiza un software de simulación de un enlace de radio desde el estudio hasta la planta transmisora localizada en otro punto y de esta última hasta la antena receptora del radioescucha, haciendo especial énfasis en las pérdidas de inserción generadas por el material de construcción de las edificaciones situadas en la ciudad de Riobamba.

2.2 Mediciones.

Se han seleccionado varios puntos de la ciudad de Riobamba para la realización de las mediciones, entre ellos están: la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones de Chimborazo, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el Coliseo Teodoro Gallegos Borja de la Federación Deportiva de Chimborazo y tres casas ubicadas en la zona centro de Riobamba. Los respectivos lugares fueron elegidos en base a los materiales de construcción de las edificaciones, como se detalla en la tabla 1-2.

Se han utilizado parámetros de medición semejantes en todos los puntos, de manera que, posteriormente se pueda distinguir y comparar los valores de potencia obtenidos.

Tabla 1-2 Número de mediciones por material de construcción

Mediciones			Total mediciones	Tipo de material de construcción
Bandas	Emisoras	Edificaciones		
4	7	Dos	22	Ladrillo
4	7	Una	11	Bloque
4	7	Cuatro	44	Mixta
4	7	Una	11	Vidrio
4	7	Una	11	Subterráneo
4	7	Dos	22	Línea de vista

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.1 Protocolo de medición de señales de radio.

1. División de la banda de radiodifusión.

El ancho de banda asignado para la radiodifusión en frecuencia modulada es de 20 MHz, que va desde los 88 a los 108 MHz, para la investigación propuesta se ha dividido esta porción de espectro radioeléctrico en cuatro bandas de 5 MHz cada una, con el objetivo de realizar las mediciones de potencia de la señal, haciendo especial énfasis en los picos y en el suelo de ruido.

Tabla 2-2 División de la banda de radiodifusión en sub-bandas.

No. de sub-banda	Ancho de banda (MHz)
Uno	De 88 a 93
Dos	De 93 a 98
Tres	De 98 a 103
Cuatro	De 103 a 108

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2. Elección de las emisoras a medir.

Una vez definidas las cuatro sub-bandas, se eligieron siete emisoras radiales para realizar las mediciones, esta selección se realizó en base a la ubicación de sus equipos transmisores, con el propósito de evidenciar la variación de potencia de la señal recibida por el radioescucha ubicado en la ciudad de Riobamba. En la tabla 3-2 se describen las emisoras, junto con la ubicación de los respectivos transmisores.

Tabla 3-2 Emisoras seleccionadas.

Nombre de la emisora	Frecuencia (MHz)	Ubicación del Tx		Coordenadas	
		Provincia	Cerro	Latitud	Longitud
Radio Pública del Ecuador	88.1	Chimborazo	Hignug Cacha	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O
Máxima Caracol	91.3	Chimborazo	Hignug Cacha	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O
Identidad Radio Cultural	94.1	Chimborazo	La Mira	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O
Tricolor FM	97.7	Chimborazo	Hignug Cacha	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O
Cumbre FM	102.5	Tungurahua	Zalarón	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O
Asamblea Nacional	105.3	Chimborazo	Hignug Cacha	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O
Stereo Familiar	107.3	Chimborazo	Hignug Cacha	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

3. Equipos de medición.

Para efectuar las mediciones de potencia de la señal de radiofrecuencia recibida en cada locación se ha utilizado el analizador de espectro portátil Anritsu MS2724B con capacidad de medición de hasta 20 GHz, que se caracteriza por ser de alta precisión para señales inalámbricas LAN, de banda ultra ancha, de celular, de radiodifusión. Después de verificar que este equipo esté correctamente calibrado, se adaptó una antena monopolo para receptar las señales de radio.



Figura 1-2 Analizador de espectro Anritsu y antena monopolo.

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

4. Establecer la configuración de parámetros en el analizador de espectro.

Los parámetros han sido configurados de manera similar con el objetivo de estandarizar el proceso de medición de potencia de la señal de radio recibida. En la tabla 4-2 se detallan los parámetros de medición para cada sub banda de 5 MHz, en la que se tendrá que establecer la frecuencia inicial que para la primera sub banda es 88 MHz y la frecuencia final que es 93 MHz, mientras que en la tabla 5-2 se describen los parámetros utilizados para la medición de cada frecuencia de radio, en la que, en vez de configurar la frecuencia inicial y final, se configura la frecuencia central, con un rango de 500 kHz.

Tabla 4-2 Parámetros de medición para sub bandas

Parámetro de medición	Valor
Ancho de banda de la resolución (RBW)	10 kHz
Ancho de banda del video (VBW)	3 kHz
Atenuación	0 dB
Nivel de referencia	-45 dBm
Escala	5 dB/div
Rango	5 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Tabla 5-2 Parámetros de medición para emisoras

Parámetro de medición	Valor
Ancho de banda de la resolución (RBW)	1 kHz
Ancho de banda del video (VBW)	300 Hz
Atenuación	0 dB
Nivel de referencia	-55 dBm
Escala	5 dB/div
Rango	500 kHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Después de configurar los parámetros, se debe insertar una tabla de marcadores que permita conocer el valor exacto de los picos y piso de ruido de la señal una vez que ésta se estabilice.

5. Capturar las mediciones realizadas.

Una vez configurados los parámetros en el analizador de espectro Anritsu MS2724B, el equipo empieza a realizar las mediciones, que tendrán que ser guardadas para futuros análisis. En este caso, el equipo permite guardar las mediciones en dispositivos externos, como memorias USB y en diferentes tipos de formatos, para efectos de la presente investigación, las mediciones fueron guardadas en formato jpg.

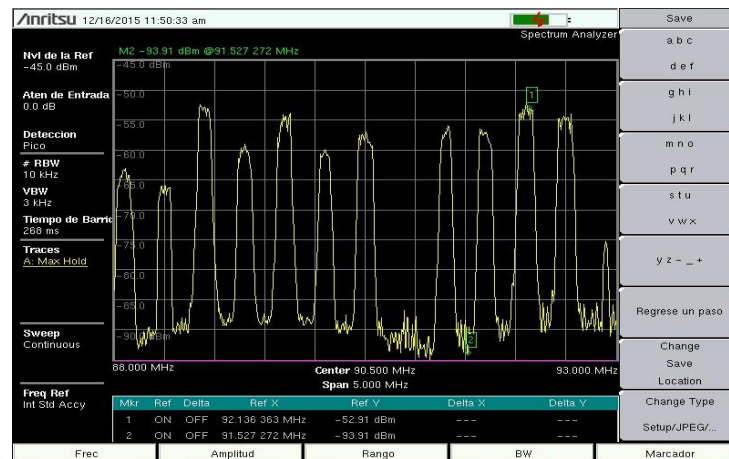


Figura 2-2 Mediciones de la sub banda de 88 a 93 MHz.

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2 Medición y tabulación de la señal recibida.

Las mediciones fueron capturadas en formato jpg con la ayuda del analizador de espectro Anritsu MS2724B, equipo esencial para medir la potencia de las señales de radio en frecuencia modulada, a continuación se muestran todas las mediciones tomadas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en un ambiente de exteriores de las sub bandas y las emisoras seleccionadas.

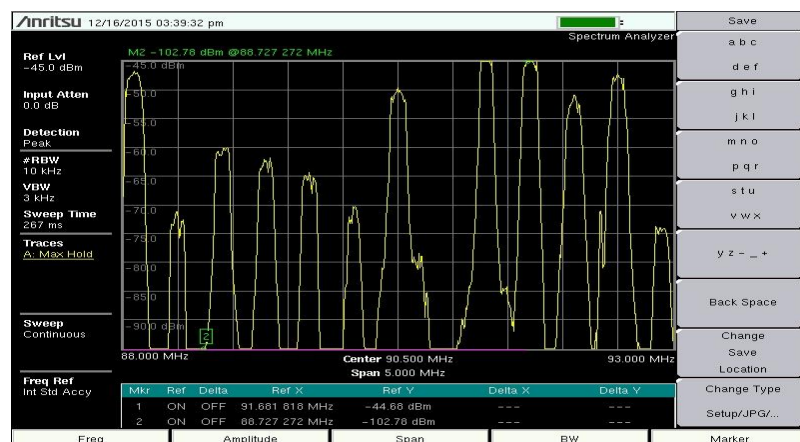


Figura 3-2 Medición de potencia de 88 a 93 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

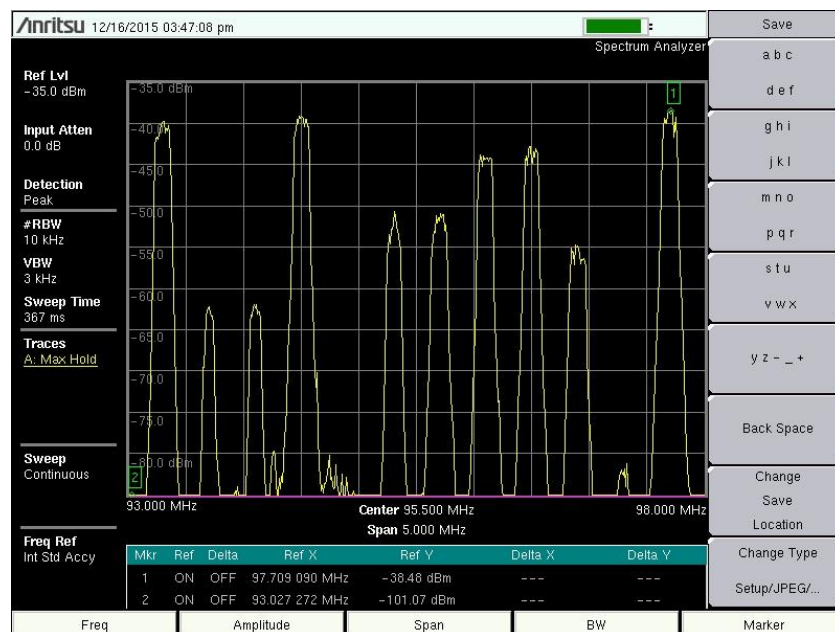


Figura 4-2 Medición de potencia de 93 a 98 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

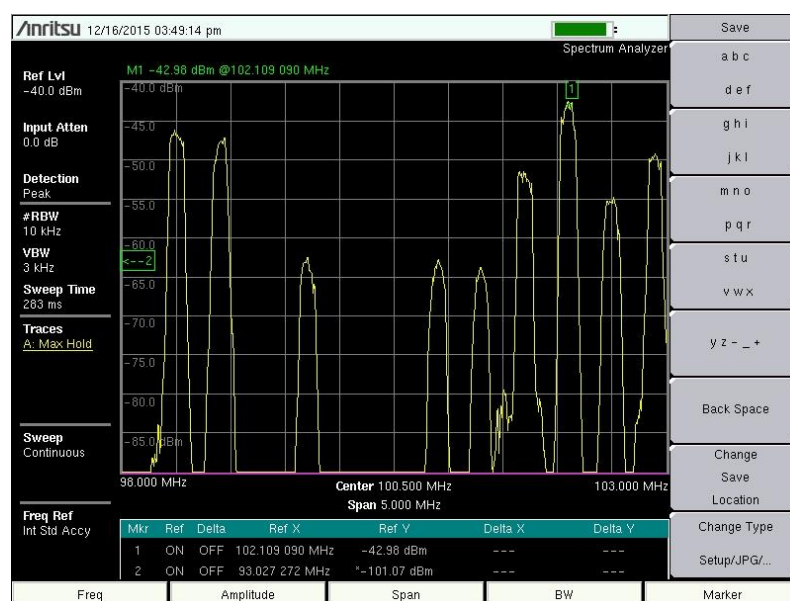


Figura 5-2 Medición de potencia de 98 a 103 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

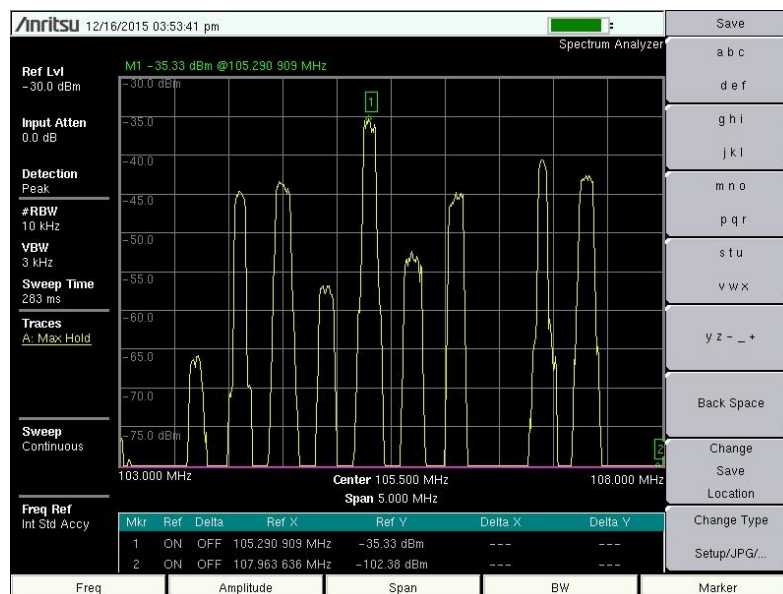


Figura 6-2 Medición de potencia de 103 a 108 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

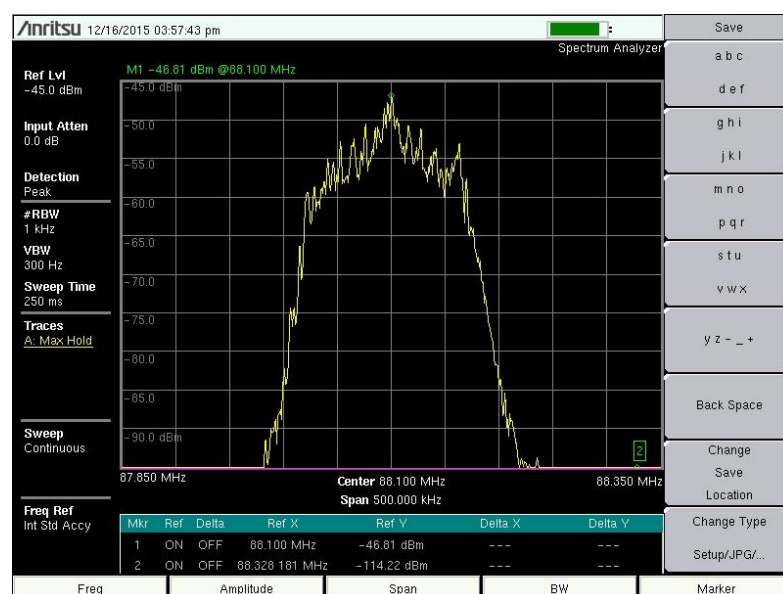


Figura 7-2 Medición de potencia de la emisora 88.1 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

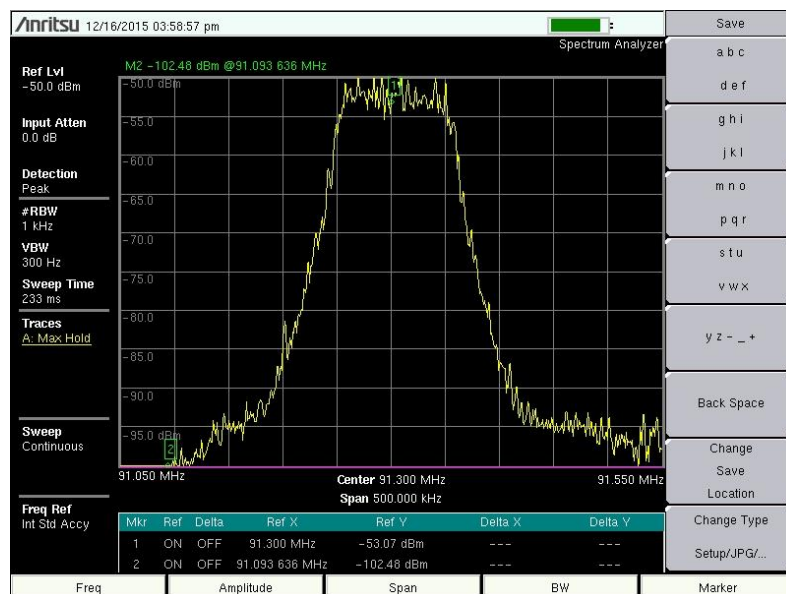


Figura 8-2 Medición de potencia de la emisora 91.3 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016



Figura 9-2 Mediciones de potencia de la emisora 94.1 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

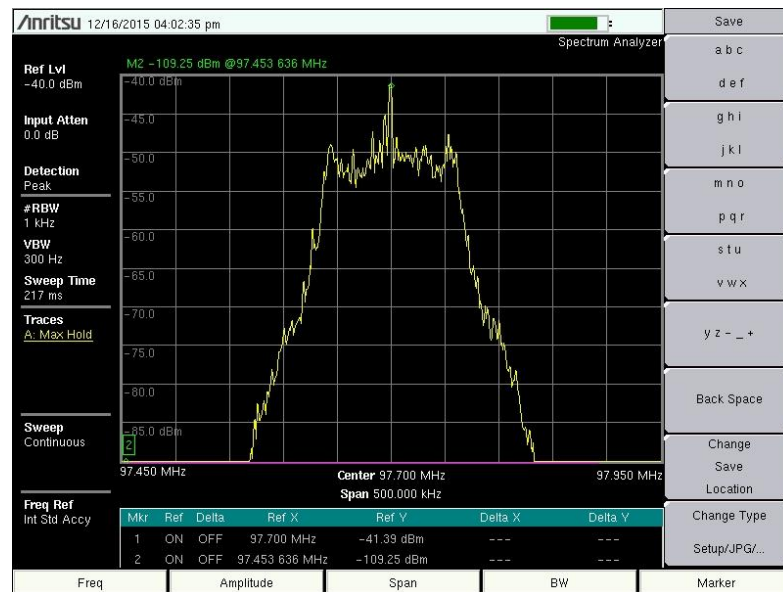


Figura 10-2 Mediciones de potencia de la emisora 97.7 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016



Figura 11-2 Mediciones de potencia de la emisora 102.5 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

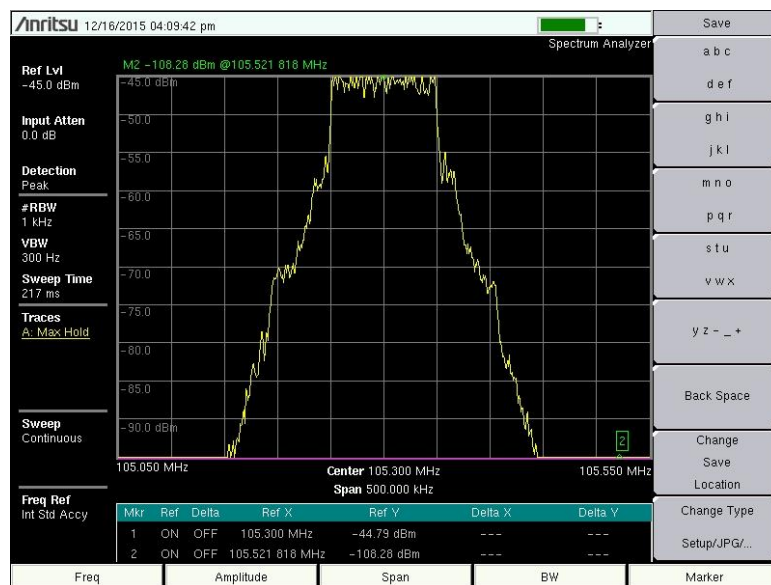


Figura 12-2 Mediciones de potencia de la emisora 105.3 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

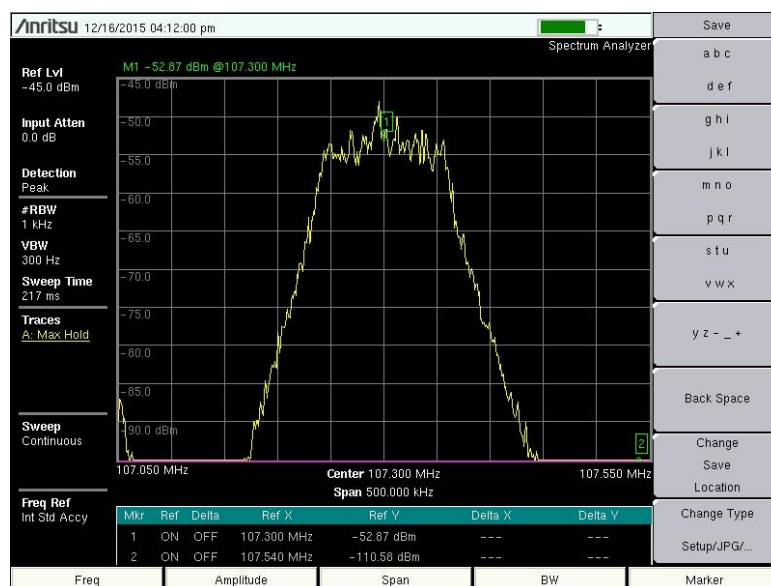


Figura 13-2 Mediciones de potencia de la emisora 107.3 MHz

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Después de haber concluido con el protocolo de medición de potencia de las señales de radio en frecuencia modulada, se procede a organizar sistemáticamente la información obtenida en base a las tablas presentadas en las imágenes, los parámetros de mayor relevancia son los picos de la señal y el piso de ruido.

2.2.2.1 Medición uno.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Mixta (Ladrillo + Vidrio + Aluminio)

Lugar: Oficinas – ARCOTEL

Tabla 6-2 Medición uno: Tipo de construcción Mixta.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-89,09	-51,77	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Sub Banda 2	93-98	-92,64	-52,72	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Sub Banda 3	98-103	-91,84	-51,9	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Sub Banda 4	103-108	-92,23	-56,86	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Emisora 1	88.1	-99,96	-76,07	-60	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Emisora 2	91.3	-96,63	-59,3	-55	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Emisora 3	94.1	-98,78	-77,85	-55	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Emisora 4	97.7	-99,64	-57,49	-55	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Emisora 5	102.5	-100,31	-58,58	-55	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Emisora 6	105.3	-101,02	-62,94	-55	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O
Emisora 7	107.3	-98,15	-62,9	-55	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°42'7.10"S	78°37'25.18"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.2 Medición dos.

Datos generales:

Tipo de medición: OUTDOOR

Tipo de construcción: Espacio abierto (LOS)

Lugar: Espacios verdes – ARCOTEL

Tabla 7-2 Medición dos: Línea de vista.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-88,13	-42,65	-40	5	10	N.A	N.A	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Sub Banda 2	93-98	-89,42	-39,99	-40	5	10	N.A	N.A	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Sub Banda 3	98-103	-92,36	-41,92	-40	5	10	N.A	N.A	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Sub Banda 4	103-108	-89,84	-45,6	-40	5	10	N.A	N.A	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Emisora 1	88.1	-105,18	-55,56	-55	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Emisora 2	91.3	-100,97	-52,56	-50	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Emisora 3	94.1	-99,84	-76,63	-55	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Emisora 4	97.7	-99,1	-47,64	-50	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Emisora 5	102.5	-98,92	-55,34	-50	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Emisora 6	105.3	-97,85	-43,09	-50	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O
Emisora 7	107.3	-98,82	-57,7	-50	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°42'6.70"S	78°37'23.41"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.3 Medición tres.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Bloque

Lugar: Bodega – ARCOTEL

Tabla 8-2 Medición tres: Tipo de construcción Bloque.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-93,91	-52,91	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Sub Banda 2	93-98	-94,39	-50,93	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Sub Banda 3	98-103	-91,82	-57,4	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Sub Banda 4	103-108	-92,68	-59,6	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Emisora 1	88.1	-99,3	-65,28	-55	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Emisora 2	91.3	-101,86	-61,36	-55	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Emisora 3	94.1	-103,02	-78,29	-55	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Emisora 4	97.7	-104,16	-66,3	-55	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Emisora 5	102.5	-103,88	-63,66	-55	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Emisora 6	105.3	-102,64	-70,45	-55	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O
Emisora 7	107.3	-99,41	-58,69	-55	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°42'7.92"S	78°37'23.46"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.4 Medición cuatro.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Vidrio

Lugar: Salón – ARCOTEL

Tabla 9-2 Medición cuatro: Tipo de construcción Vidrio.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-92,78	-55,37	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Sub Banda 2	93-98	-94,24	-47,51	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Sub Banda 3	98-103	-90,14	-51,41	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Sub Banda 4	103-108	-92,44	-45,67	-45	5	10	N.A	N.A	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Emisora 1	88.1	-105,42	-56,44	-55	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Emisora 2	91.3	-104,78	-59,61	-55	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Emisora 3	94.1	-103,57	-77,42	-55	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Emisora 4	97.7	-105,12	-57,4	-55	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Emisora 5	102.5	-103,98	-70,7	-55	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Emisora 6	105.3	-99,79	-47,12	-45	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O
Emisora 7	107.3	-99,72	-57,8	-50	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°42'5.49"S	78°37'23.31"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.5 Medición cinco.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Mixta (Bloque + Vidrio + Ladrillo)

Lugar: Laboratorio de Automatización – FIE ESPOCH

Tabla 10-2 Medición cinco: Tipo de construcción Mixta.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-101,58	-50	-50	5	10	N.A	N.A	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Sub Banda 2	93-98	-103,01	-48,07	-55	5	10	N.A	N.A	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Sub Banda 3	98-103	-101,48	-50,36	-50	5	10	N.A	N.A	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Sub Banda 4	103-108	-100,09	-41,12	-55	5	10	N.A	N.A	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Emisora 1	88.1	-112,46	-63,37	-65	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Emisora 2	91.3	-111,52	-60,46	-65	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Emisora 3	94.1	-111,83	-80,44	-65	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Emisora 4	97.7	-112,87	-65,1	-65	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Emisora 5	102.5	-102,78	-78,88	-65	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Emisora 6	105.3	-105,9	-45,96	-60	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O
Emisora 7	107.3	-105,46	-53,01	-60	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°39'20.09"S	78°40'39.32"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.6 Medición seis.

Datos generales:

Tipo de medición: OUTDOOR

Tipo de construcción: Espacio abierto (LOS)

Lugar: Espacios verdes – Parque del estudiante ESPOCH

Tabla 11-2 Medición seis: Línea de vista.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-102,78	-44,66	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Sub Banda 2	93-98	-101,07	-38,48	-35	5	10	N.A	N.A	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Sub Banda 3	98-103	-104,36	-42,98	-55	5	10	N.A	N.A	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Sub Banda 4	103-108	-103,4	-35,33	-55	5	10	N.A	N.A	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Emisora 1	88.1	-114,22	-46,81	-65	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Emisora 2	91.3	-102,48	-53,07	-50	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Emisora 3	94.1	-101,58	-66,29	-55	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Emisora 4	97.7	-109,25	-41,39	-60	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Emisora 5	102.5	-110,43	-61,25	-65	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Emisora 6	105.3	-108,28	-44,79	-60	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O
Emisora 7	107.3	-110,58	-52,87	-65	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°39'25.07"S	78°40'39.25"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.7 Medición siete.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Subterráneo

Lugar: Subterráneo – MULTIPLAZA

Tabla 12-2 Medición siete: Tipo de construcción Subterráneo.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-90,27	-81,06	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Sub Banda 2	93-98	-88,42	-79,88	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Sub Banda 3	98-103	-84,13	-76,05	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Sub Banda 4	103-108	-90,9	-75,36	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Emisora 1	88.1	-106,32	-90,33	-65	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Emisora 2	91.3	-104,02	-100,88	-65	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Emisora 3	94.1	-99,92	-98,99	-65	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Emisora 4	97.7	-99,6	-94,02	-65	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Emisora 5	102.5	-98,59	-94,75	-65	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Emisora 6	105.3	-99,27	-82,96	-65	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O
Emisora 7	107.3	-100,31	-94,95	-65	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°39'21.27"S	78°39'49.40"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.8 Medición ocho.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Mixta

Lugar: Aulas prefabricadas – ESPOCH

Tabla 13-2 Medición ocho: Tipo de construcción Mixta.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-104,79	-48,09	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Sub Banda 2	93-98	-104,68	-46,42	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Sub Banda 3	98-103	-105,04	-47,36	-45	5	10	N.A	N.A	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Sub Banda 4	103-108	-105,15	-41,84	-60	5	10	N.A	N.A	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Emisora 1	88.1	-114,87	-59,6	-70	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Emisora 2	91.3	-114,53	-63,58	-65	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Emisora 3	94.1	-109,48	-67,71	-65	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Emisora 4	97.7	-114,5	-53,03	-65	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Emisora 5	102.5	-116	-77,02	-70	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Emisora 6	105.3	-113,16	-45,64	-65	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O
Emisora 7	107.3	-112,9	-53,95	-65	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°39'20.14"S	78°40'37.46"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.9 Medición nueve.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Ladrillo

Lugar: iPREX Centro

Tabla 14-2 Medición nueve: Tipo de construcción Ladrillo.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-101,61	-56,7	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Sub Banda 2	93-98	-103,39	-57,85	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Sub Banda 3	98-103	-104,94	-61,07	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Sub Banda 4	103-108	-105,5	-53,9	-60	5	10	N.A	N.A	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Emisora 1	88.1	-111,53	-72,83	-65	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Emisora 2	91.3	-110,73	-73,54	-65	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Emisora 3	94.1	-111,86	-66,46	-65	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Emisora 4	97.7	-112,97	-58,62	-65	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Emisora 5	102.5	-112,89	-75,94	-70	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Emisora 6	105.3	-114,6	-53,66	-70	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O
Emisora 7	107.3	-115,39	-63,06	-70	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°40'5.13"S	78°39'8.57"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.10 Medición diez.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Ladrillo

Lugar: Camerino #2 – FDCh

Tabla 15-2 Medición diez: Tipo de construcción Ladrillo.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-104,12	-51,45	-50	5	10	N.A	N.A	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Sub Banda 2	93-98	-103,77	-52,04	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Sub Banda 3	98-103	-105,28	-57,8	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Sub Banda 4	103-108	-102,12	-43,47	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Emisora 1	88.1	-111,24	-64,4	-70	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Emisora 2	91.3	-110,7	-62,54	-60	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Emisora 3	94.1	-114,33	-70,61	-65	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Emisora 4	97.7	-113,93	-58,25	-65	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Emisora 5	102.5	-114,56	-74,87	-70	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Emisora 6	105.3	-111,4	-51,79	-70	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O
Emisora 7	107.3	-114,76	-60,15	-70	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°40'9.92"S	78°39'4.39"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.2.2.11 Medición once.

Datos generales:

Tipo de medición: INDOOR

Tipo de construcción: Mixta (Adobe + Ladrillo)

Lugar: Vivienda

Tabla 16-2 Medición once: Tipo de construcción Mixta.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Piso de ruido (dBm)	Pico señal (dBm)	Nivel de referencia (dBm)	Span (MHz)	RBW (kHz)	Ubicación del transmisor		Ubicación del receptor	
							Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Sub Banda 1	88-93	-104,12	-46,64	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Sub Banda 2	93-98	-103,05	-41,71	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Sub Banda 3	98-103	-104,07	-49,96	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Sub Banda 4	103-108	-102,92	-36,43	-55	5	10	N.A	N.A	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Emisora 1	88.1	-114,82	-49,62	-65	0,5	1	01°41'31.90"S	78°42'58.60"O	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Emisora 2	91.3	-111,24	-56,34	-55	0,5	1	01°41'30.76"S	78°42'57.40"O	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Emisora 3	94.1	-106,58	-66,39	-60	0,5	1	01°30'32.70"S	78°35'05.20"O	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Emisora 4	97.7	-107,1	-45,2	-60	0,5	1	01°41'30.38"S	78°42'57.92"O	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Emisora 5	102.5	-112,37	-79,92	-65	0,5	1	01°47'2.43"S	78°41'28.57"O	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Emisora 6	105.3	-106,68	-45,24	-60	0,5	1	01°41'31.77"S	78°42'59.36"O	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O
Emisora 7	107.3	-108,51	-53,56	-65	0,5	1	01°41'32.29"S	78°43'0.84"O	1°40'34.82"S	78°39'17.77"O

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

2.3 Modelamiento de atenuaciones.

Una vez que los datos fueron recolectados se procede a hacer el modelamiento de las pérdidas de inserción producidas por los diferentes materiales de construcción. Para la realización del proceso matemático se organizan los datos en tablas que permitan comparar la diferencia existente entre la potencia de la señal recibida en exteriores y el bloque, vidrio, ladrillo y construcción mixta de las diferentes locaciones en las que se han realizado las mediciones de potencia.

Primero se dibujarán los pares ordenados en el plano cartesiano del programa CurveExpert Professional 2.3.0, posteriormente se calculará una ecuación racional polinómica mediante regresiones, la forma general de dicha ecuación se presenta en la ecuación 1-2 y el objetivo es hallar el valor de las constantes a, b, c, d que permitan un mejor ajuste de la curva a los valores de las atenuaciones.

$$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

2.3.1 Modelamiento de atenuaciones del material bloque.

En la tabla 17-2, se realiza la primera comparación de las mediciones outdoor e indoor recogidas en la ciudad de Riobamba, se empieza con el material bloque, el detalle de la diferenciación realizada se expone en el capítulo tercero puesto que en este apartado se necesitan solamente de los valores expresados en decibelios de la disminución de la potencia de la señal de radio en diferentes tipos de ambientes.

Tabla 17-2 Pérdidas de inserción para el material bloque.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Outdoor	Diferencia Bloque (dB)
Emisora 1	88.1	-55,56	9,72
Emisora 2	91.3	-52,56	8,8
Emisora 3	94.1	-76,63	1,66
Emisora 4	97.7	-47,64	18,66
Emisora 5	102.5	-55,34	8,32
Emisora 6	105.3	-43,09	27,36
Emisora 7	107.3	-57,7	0,99
Promedio (dB)			10,79

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Los puntos se plotean en el programa CurveExpert, el primer ajuste que se realiza es de las siete emisoras de radio seleccionadas con respecto a edificaciones de bloque, en el eje de las abscisas se ubican las frecuencias expresadas en MHz, mientras que en el eje de las ordenadas se sitúa la respectiva atenuación expresada en decibelios.

El objetivo es obtener una función exponencial de una curva que pase lo más cerca posible por los siete puntos del eje, correspondientes a las atenuaciones del bloque y que pueda ser evaluada para cualquier frecuencia de los 88 a 108 MHz, dando como resultado una aproximación de las pérdidas en decibelios de la señal de radio. En la figura 14-2 se muestran los puntos graficados en el plano cartesiano.

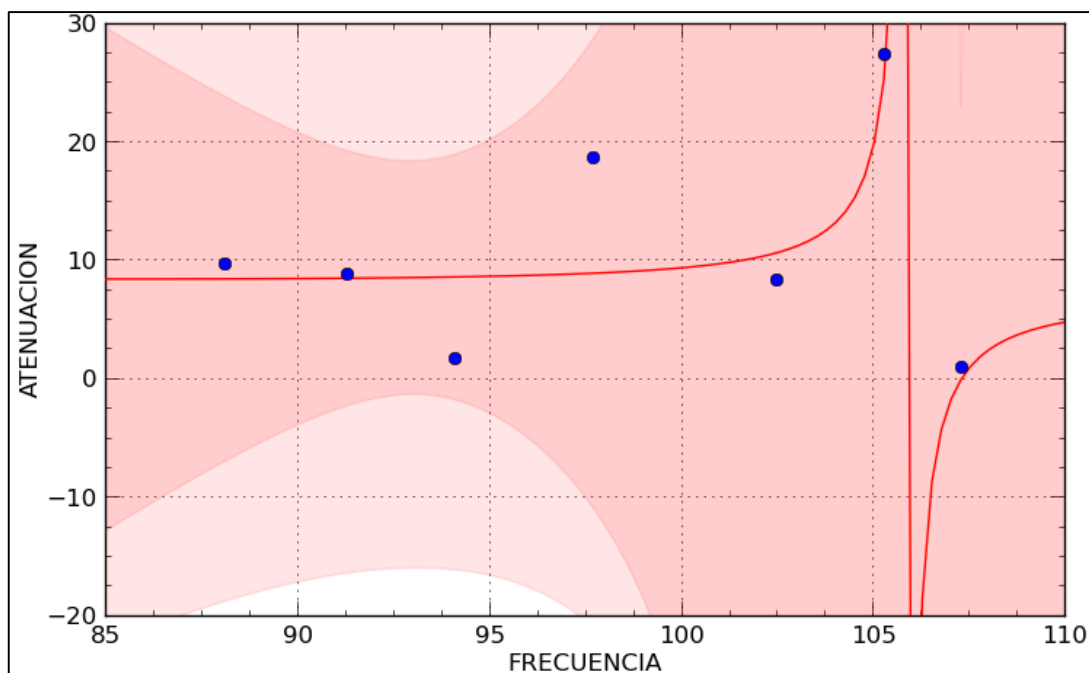


Figura 14-2 Interpolación de las atenuaciones por bloque

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Posteriormente se muestran los valores de los coeficientes a, b, c, d, que serán reemplazados en la ecuación 2-2 para plantear la fórmula polinómica calculada que se ajusta a la curva, cabe resaltar que, a medida que se incrementa el grado se obtiene mayor precisión en el modelamiento matemático.

El coeficiente de determinación para esta gráfica es de 0,70517, lo que indica que el ajuste es bastante apropiado para los datos sistematizados. Para evaluar esta ecuación se debe reemplazar el valor de la variable independiente “x” por la frecuencia deseada, de este modo, la variable dependiente “y” dará como resultado un factor de atenuación de señal producido por el material bloque.

Coefficientes:

$$a = 1.08522313757019E+01$$

$$b = -1.01175663632437E-01$$

$$c = -5.34174863183428E-03$$

$$d = -3.87933440162381E-05$$

$$y = \frac{10,85223 - 0,10118 \cdot x}{1 - 5,34175 \cdot 10^{-3} x - 3,87933 \cdot 10^{-5} x^2}$$

Ecuación 2-2

2.3.2 Modelamiento de atenuaciones en construcción mixta

En la tabla 18-2, se realiza la comparación de las mediciones outdoor e indoor correspondientes a la construcción mixta, es esencial realizar el modelamiento matemático de este tipo de material debido a que la mayor parte de edificaciones de la ciudad de Riobamba son de este tipo, por lo tanto, la mayor parte de radioescuchas se sitúa en este grupo.

Tabla 18-2 Pérdidas de inserción para construcción mixta

Descripción	Frecuencia (MHz)	Outdoor	Diferencia Mixta (dB)
Emisora 1	88.1	-55,56	13,17
Emisora 2	91.3	-52,56	6,98
Emisora 3	94.1	-76,63	4,22
Emisora 4	97.7	-47,64	12,25
Emisora 5	102.5	-55,34	13,83
Emisora 6	105.3	-43,09	5,58
Emisora 7	107.3	-57,7	1,78
Promedio (dB)			8,26

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

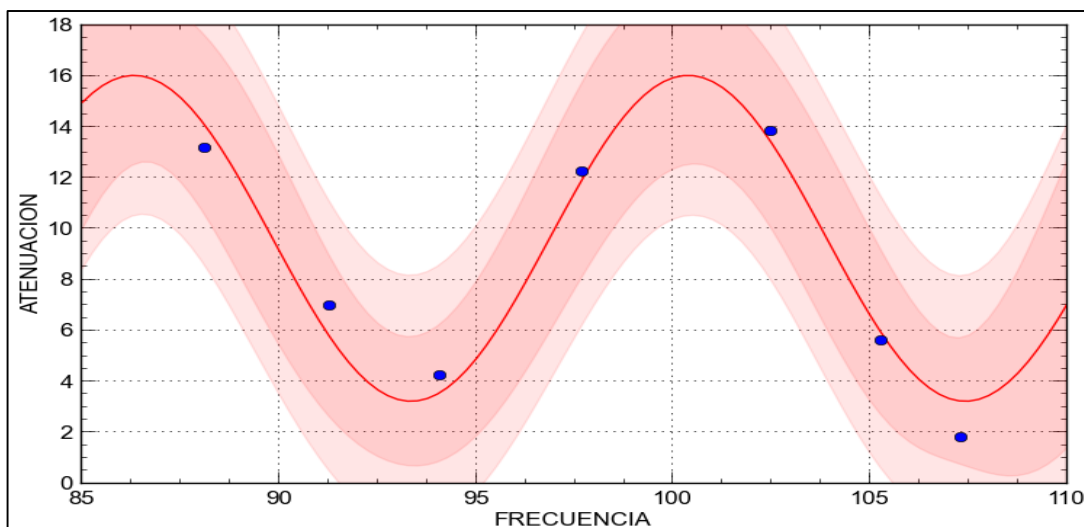


Figura 15-2 Interpolación de las atenuaciones por construcción mixta

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Una vez analizados los datos y graficados los puntos en el software CurveExpert que se muestran en la Figura 15-2 se llega a la conclusión que la función que más se ajusta al conjunto es de tipo sinusoidal, de la forma: $y = a + b.Cos(cx + d)$, puesto que el coeficiente de determinación es 0,961329, las respectivas constantes se encuentran a continuación y la fórmula se muestra en la ecuación 3-2.

$$\begin{aligned} a &= 9.62901584830961E+00 & b &= 6.39797587320895E+00 \\ c &= 4.46560762126681E-01 & d &= -1.34064548923543E+01 \end{aligned}$$

$$y = 9,62901 + 6,39798.Cos(0,44656x - 0,13406) \quad \text{Ecuación 3-2}$$

2.3.3 Modelamiento de atenuaciones del material vidrio.

La diferencia entre la potencia medida en la señal outdoor y el material de construcción vidrio se presenta en la tabla 19-2, ésta es la atenuación más baja presentada en relación a las atenuaciones de los demás materiales.

Tabla 19-2 Pérdidas de inserción para el material vidrio

Descripción	Frecuencia (MHz)	Outdoor	Diferencia Vidrio (dB)
Emisora 1	88.1	-55,56	0,88
Emisora 2	91.3	-52,56	7,05
Emisora 3	94.1	-76,63	0,79
Emisora 4	97.7	-47,64	9,76
Emisora 5	102.5	-55,34	15,36
Emisora 6	105.3	-43,09	4,03
Emisora 7	107.3	-57,7	0,1
Promedio (dB)			5,42

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

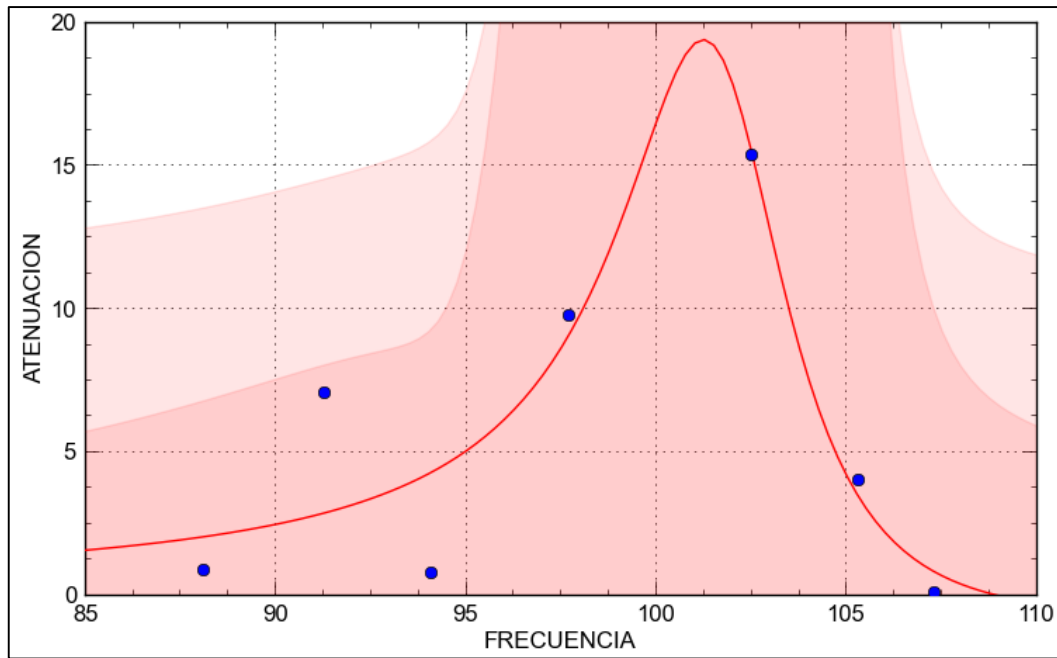


Figura 16-2 Interpolación de las atenuaciones por vidrio

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Una vez que los datos han sido ploteados en el software de modelamiento matemático se observa que la función que más se ajusta a la curva es de tipo racional, en la ecuación 4-2 se generaliza el modelo matemático con sus constantes a, b, c, d, el coeficiente de determinación de este ajuste de curva es de 0,83188, lo que indica que la generalización es apropiada.

$$a = 1.99768719272171E-01$$

$$c = -1.96489965773702E-02$$

$$b = -1.83306071032190E-03$$

$$d = 9.65892495245554E-05$$

$$y = \frac{0,199768 - 1,83306 \cdot 10^{-3} x}{1 - 1,96490 \cdot 10^{-2} x + 9,65892 \cdot 10^{-5} x^2} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

2.3.4 Modelamiento de atenuaciones del material ladrillo.

Para el material ladrillo, se muestra un promedio de todas las mediciones de potencia realizadas en la ciudad de Riobamba en la tabla 20-2, este material presenta una atenuación más alta que los demás tipos analizados.

Tabla 20-2 Pérdidas de inserción para el material ladrillo

Descripción	Frecuencia (MHz)	Outdoor	Diferencia Ladrillo (dB)
Emisora 1	88.1	-55,56	21,81
Emisora 2	91.3	-52,56	14,97
Emisora 3	94.1	-76,63	2,24
Emisora 4	97.7	-47,64	17,05
Emisora 5	102.5	-55,34	14,16
Emisora 6	105.3	-43,09	7,94
Emisora 7	107.3	-57,7	8,74
Promedio (dB)			12,41

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

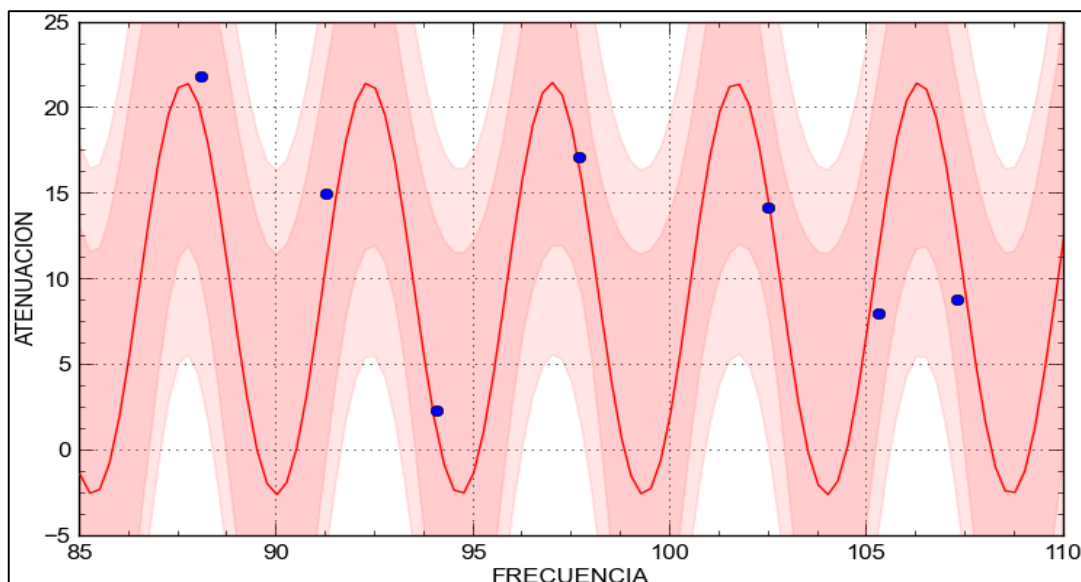


Figura 17-2 Interpolación de las atenuaciones por ladrillo

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Luego de ajustar una curva a las atenuaciones producidas por el material ladrillo se llega a obtener una ecuación sinusoidal que es la más adecuada para este tipo de distribución, los parámetros bajo los cuales se trabaja son los siguientes:

$$a = 9.46885706318388E+00$$

$$b = 1.20406913059013E+01$$

$$c = 1.34792262566343E+00$$

$$d = -5.06740821349310E+00$$

Al calcular las constantes mediante el ajuste de la curva en la fórmula general de tipo sinusoidal se obtiene un factor de determinación de 0,813549 y reemplazando los factores en dicha fórmula se obtiene la ecuación 5-2.

$$y = 9,46886 + 1,20407 \cdot \cos(1,34792x - 5,06741) \quad \text{Ecuación 5-2}$$

2.3.5 Modelamiento de atenuaciones de subterráneo

La diferencia entre la señal recibida en un ambiente outdoor y el subterráneo se muestran en la tabla 21-2, para este tipo de edificación la señal de radio se atenúa completamente, al colocar un radioreceptor de modulación en frecuencia no se obtienen ondas demoduladas.

Tabla 21-2 Pérdidas de inserción para subterráneo

Descripción	Frecuencia (MHz)	Outdoor	Diferencia Subterráneo (dB)
Emisora 1	88.1	-55,56	43,52
Emisora 2	91.3	-52,56	47,81
Emisora 3	94.1	-76,63	32,7
Emisora 4	97.7	-47,64	52,63
Emisora 5	102.5	-55,34	33,5
Emisora 6	105.3	-43,09	38,17
Emisora 7	107.3	-57,7	42,08
Promedio (dB)			41,49

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

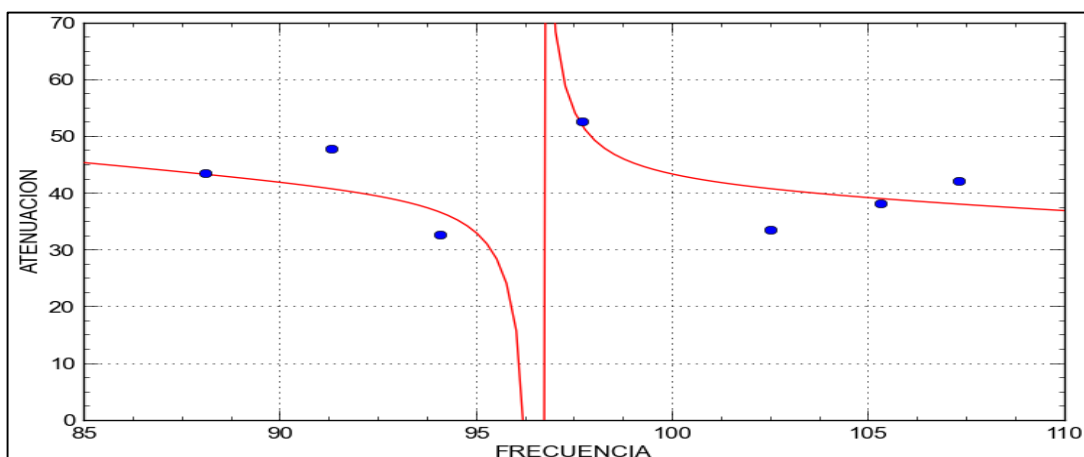


Figura 18-2 Interpolación de las atenuaciones en subterráneo

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Como se observa en la figura 18-2 los valores de atenuación de las ondas de radio receptadas es alto. La ecuación que se ajusta a la curva es de tipo polinomial racional, su coeficiente de

determinación es de 0,5784363, que indica que al evaluar la ecuación 6-2 para las frecuencias de 88 a 108 MHz se obtendrá un resultado cercano a la atenuación real.

$$a = 2.87286724130768E+08$$

$$b = -2.98635402377767E+06$$

$$c = 7.25170845120284E+04$$

$$d = -7.51303176816653E+02$$

$$y = \frac{2,87287 \cdot 10^8 - 2,98635 \cdot 10^6 x}{1 - 7,25171 \cdot 10^4 x - 7,51303 \cdot 10^2 x^2} \quad \text{Ecuación 6-2}$$

2.4 Simulación de enlaces de radio.

La simulación de enlaces de radio se basa en las mediciones de potencia tomadas en las seis locaciones planificadas según el tipo de material de construcción de las edificaciones. Para realizar la simulación del enlace de radio y sus distintas atenuaciones se utiliza el software Visual Studio 2013, que es un lenguaje de programación guiado por eventos que permite mayor operatividad y mejores resultados. La creación de interfaces gráficas para diferentes utilidades es una de las principales funciones de software Visual Basic, es por esto que es altamente usado en espacios profesionales donde se requieren soportes gráficos para mayor organización de los contenidos y materiales.

La programación gráfica se puede llevar a cabo directamente ya que el Visual Basic no requerirá de los usuarios la escritura de los códigos de programación. Una de las mayores ventajas de este programa es su amplia gama de opciones, se permite crear un entorno agradable y amigable con el usuario que desconoce el campo de los radioenlaces. En la tabla 22-2 se enlistan varios de los comandos más utilizados en Visual Basic Studio con sus respectivas abreviaturas.

Tabla 22-2 Abreviaturas de controles más usuales en Visual Studio

Abreviatura	Control	Abreviatura	Control
chk	check box	cbo	combo box
cmd	command button	dir	dir list box
drv	driver list box	fil	file list box
frm	form	fra	frame
hsb	horizontal scroll bar	img	image
lbl	label	lin	line
lst	list	mnu	menú
opt	option button	pct	picture box
shp	shape	txt	text edit box
tmr	timer	vsb	vertical scroll bar

Fuente: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Informat1/AyudaInf/aprendainf/VisualBasic6/vbasic60.pdf>

Otra parte esencial que se debe conocer del programa Visual Studio es la declaración de variables, el tipo de variables, el lugar donde deben ser declaradas y el tipo de accesibilidad que tendrán, para el caso de esta simulación de atenuaciones se necesita que el resultado final de la potencia recibida por el usuario será de tipo público debido a que se debe poder acceder al valor desde cualquier formulario de la aplicación para calcular las pérdidas de inserción. En la tabla 23-2 se describe la accesibilidad de variables.

Tabla 23-2 Accesibilidad de variables en Visual Studio

Tipo de declaración	Lugar de declaración	Accesibilidad
Global o Public	Declaración de *.bas	Desde todos los formularios
Dim o private	Declaración de *.bas	Desde todas las funciones de ese módulo
Public	Declaración de *.frm	Desde cualquier procedimiento del propio formulario y desde otros, precedida del nombre del módulo en el que se ha declarado.
Dim o Private	Declaración de *.frm	Desde cualquier procedimiento del formulario
Dim	Cualquier procedimiento de un módulo	Desde el propio procedimiento

Fuente: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Informat1/AyudaInf/aprendainf/VisualBasic6/vbasic60.pdf>

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La aplicación que se crea plantea un escenario de propagación básico de radiodifusión en frecuencia modulada, se cuenta con un transmisor, que representa a cada una de las estaciones de radio que difunden su señal en el espectro radioeléctrico.

Una vez enviada, esta señal es decodificada por una primera antena receptora, que normalmente se encuentra ubicada en zonas altas puesto que va a ser la encargada de distribuir la señal a una tercera antena que hará un traspaso de frecuencia de bajada, cabe resaltar que en la misma torre se encuentra esta tercera antena que se convierte en transmisora hacia los diferentes puntos de recepción de los radioescuchas.

El manejo del programa es intuitivo, los datos que el usuario debe ingresar es la potencia del transmisor, la ganancia del amplificador, las pérdidas del cable por cada 100 metros, la distancia del cable de la antena al transmisor, las pérdidas ocasionadas por conectores y la ganancia de la primera antena transmisora, una vez que se cuenta con estos datos se procede a calcular las

pérdidas por longitud dependiendo del cable que se esté utilizando, así como también la PIRE (Potencia Isotrópica Efectiva Radiada) y la PER (Potencia Efectiva Radiada) del primer enlace.

Seguidamente se debe ingresar la distancia del radioenlace y la frecuencia a la que se va a realizar, con estos datos el programa será capaz de calcular las pérdidas en el espacio libre y una vez que se cuenta con todos los valores mencionados anteriormente se puede estimar las atenuaciones y por ende la potencia con la cual llega la señal de radio hacia el receptor ubicado en las diferentes edificaciones de la ciudad de Riobamba.

Para empezar con la programación orientada a objetos se necesita de un esquema previo de diseño y de un diagrama de flujo de procesos.

Se partirá de un enlace de radio simple entre emisor y receptor para posteriormente ir adaptando los demás elementos que participan en la transmisión de ondas de radio, el diagrama básico consta de una antena emisora ubicada en los estudios de radio, que propaga la señal hacia una antena en la planta de transmisiones, como se observa en la figura 19-2.

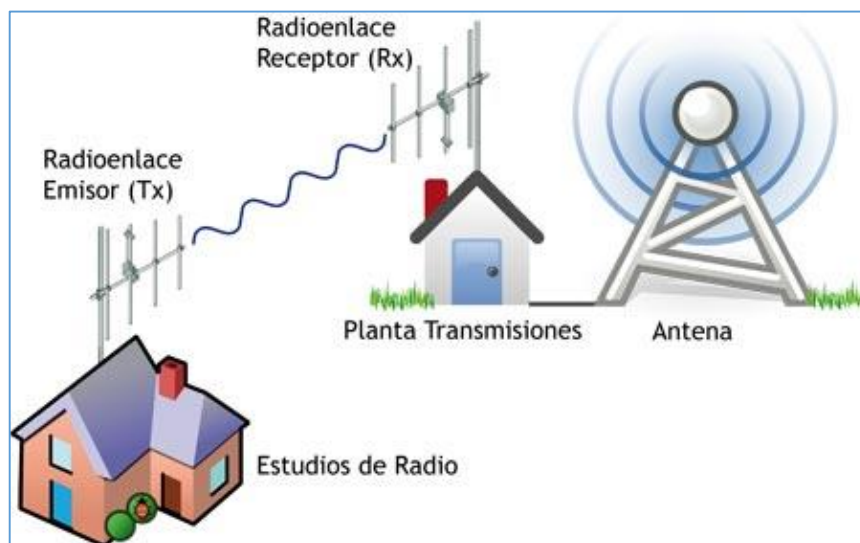


Figura 19-2 Esquema del software

Fuente: <https://tomrospa.files.wordpress.com/2013/12/radioenlace.jpg>

Una vez definidos los elementos del entorno de transmisión y recepción se procede a realizar la interfaz gráfica del programa, que consta de un menú de opciones en donde se describe parámetros técnicos de cada uno de los componentes del sistema de comunicaciones, entre ellos se tiene: equipos transmisores, cables, antenas, equipos receptores y unidades de conversión, para que navegando por los ítems, el usuario se familiarice con los términos y parámetros bajo los cuales trabaja el software.

Cuando se ingresen los datos de potencia, ganancia y pérdidas se harán los cálculos respectivos para determinar la factibilidad del enlace de radio, tomando en cuenta las pérdidas de inserción que pueden afectar a la señal de radio que recibe el radioescucha en función de la sensibilidad del receptor.

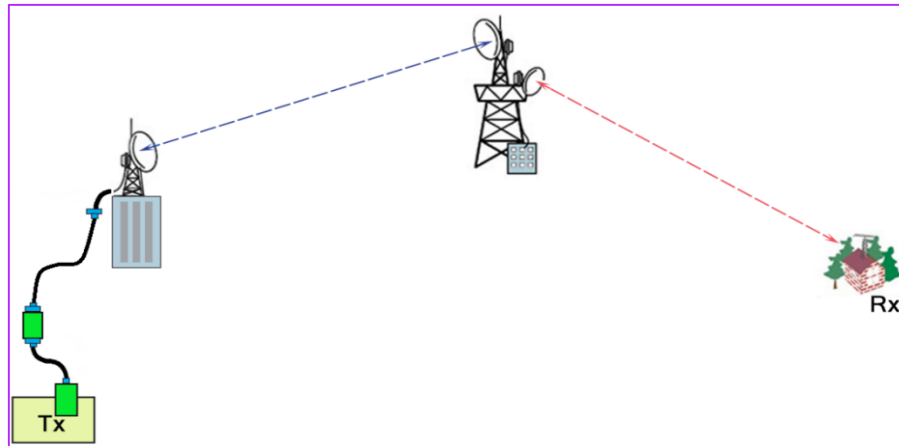


Figura 20-2 Escenario final de simulación

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1 Introducción

Una vez realizadas las mediciones de potencia de la señal de radio recibida en la ciudad de Riobamba se procede a hacer un análisis en base a diferentes comparaciones. Primero, se calcula la relación señal a ruido con el objetivo de conocer que tan inmune es la señal frente al ruido insertado por el medio de transmisión.

Luego se realiza una comparación de mediciones indoor y outdoor, llegando a la conclusión que la mejor manera de recibir una señal de radio es en ambientes de exteriores procurando tener una línea de vista entre el emisor y el receptor. Finalmente se comparan las mediciones de potencia obtenidas en edificaciones de un mismo material de construcción como vidrio, ladrillo, bloque, mixta y subterráneo.

Después de examinar los resultados, se encuentra un promedio de pérdidas de inserción entre los diferentes materiales, que sirve para realizar el software del modelamiento y simulación de atenuaciones pues es colocado como un factor de atenuación que permite determinar si el radioenlace es factible bajo los parámetros ingresados por el usuario.

3.2 Relación señal a ruido.

La relación señal a ruido es utilizada para definir la potencia de la señal medida y la potencia del ruido interferente. En la tabla 1-3 se calcula la relación señal a ruido en base a las mediciones de potencia de la señal en distintos materiales de construcción obtenidas en la Agencia de Regulación y Control de la Telecomunicaciones.

La primera interpretación que se realiza es en las mediciones outdoor, se observa que la relación señal a ruido mayor, de 54,76 dB (ver Tabla 1-3), corresponde a la frecuencia 105.3 MHz, lo que indica que la señal recibida es clara, mientras que, la relación menor de señal a ruido corresponde a la frecuencia de 94.1 MHz, de Identidad Radio Cultural. Como se observa en la tabla 1-3, los valores, en general, de la relación de señal a ruido son mayores a los calculados en diferentes materiales de construcción, lo que comprueba que la señal receptada por el radioescucha sufre menor atenuación cuando existe una línea de vista entre el receptor y el emisor.

Por otro lado, para las mediciones realizadas en construcción mixta, la mayor relación señal a ruido es para la frecuencia de 97.7 MHz, lo que indica que la señal provista por Radio Tricolor es más inmune a interferencias que las demás emisoras radiales, mientras que, para la frecuencia de 94.1 MHz, de Identidad Radio Cultural, se observa el menor cociente para la relación de señal a ruido, por lo que su señal es más propensa a atenuarse antes de llegar al usuario.

Tabla 1-3 Relación señal a ruido – ARCOTEL

Frecuencia (MHz)	Mediciones outdoor			Construcción mixta			Construcción de bloque			Construcción de vidrio		
	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)
88-93	-88,13	-42,65	45,48	-89,09	-51,77	37,32	-93,91	-52,91	41	-92,78	-55,37	37,41
93-98	-89,42	-39,99	49,43	-92,64	-52,72	39,92	-94,39	-50,93	43,46	-94,24	-47,51	46,73
98-103	-92,36	-41,92	50,44	-91,84	-51,9	39,94	-91,82	-57,4	34,42	-90,14	-51,41	38,73
103-108	-89,84	-45,6	44,24	-92,23	-56,86	35,37	-92,68	-59,6	33,08	-92,44	-45,67	46,77
88.1	-105,18	-55,56	49,62	-99,96	-76,07	23,89	-99,3	-65,28	34,02	-105,42	-54,44	49,98
91.3	-100,97	-52,56	48,41	-96,63	-59,3	37,33	-101,86	-61,36	40,5	-104,78	-59,61	45,17
94.1	-99,84	-76,63	23,21	-98,78	-77,85	20,93	-103,02	-78,29	24,73	-103,57	-77,42	26,15
97.7	-99,1	-47,64	51,46	-99,64	-57,49	42,15	-104,16	-66,3	37,86	-105,12	-57,4	47,72
102.5	-98,92	-55,34	43,58	-100,31	-58,58	41,73	-103,88	-63,66	40,22	-103,98	-70,7	33,28
105.3	-97,85	-43,09	54,76	-101,02	-62,94	38,08	-102,64	-70,45	32,19	-99,79	-47,12	52,67
107.3	-98,82	-57,7	41,12	-98,15	-62,9	35,25	-99,41	-58,69	40,72	-99,72	-57,8	41,92

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Posteriormente, se compara la relación señal a ruido en una construcción de bloque, en este caso la tasa mayor no corresponde a una emisora en particular, sino a la sub-banda de 93 a 98 MHz, mientras que, la tasa menor se obtiene en la frecuencia 105.3 MHz, al realizar un análisis, se observa que esta misma frecuencia resultó ser menos inmune a interferencias siempre que el receptor esté ubicado en una línea de vista con el emisor, como se demuestra en las mediciones outdoor.

Finalmente, se compara la relación de señal a ruido en una construcción de vidrio, en donde esta tasa es similar a la producida en un ambiente outdoor debido a que el vidrio no atenúa considerablemente a las ondas electromagnéticas, los resultados son análogos a los obtenidos en las mediciones outdoor, la mayor relación señal a ruido pertenece a la frecuencia 105.3 MHz, de Radio Asamblea Nacional y la señal más vulnerable a atenuaciones es la de Radio Identidad Cultural, seguida de la frecuencia 102.5 de Radio Cumbre FM.

El siguiente cálculo de la tasa de señal a ruido se realiza en base a las mediciones obtenidas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En la tabla 2-3 se detallan los valores obtenidos para diferentes materiales de construcción, con objetivo de analizar el comportamiento de la señal de radio frente a distintos tipos de atenuaciones.

Tabla 2-3 Relación señal a ruido – ESPOCH

Frecuencia (MHz)	Mediciones outdoor			Construcción mixta 1			Construcción mixta 2		
	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)
88-93	-102,78	-44,66	58,12	-101,58	-50	51,58	-104,79	-48,09	56,7
93-98	-101,07	-38,48	62,59	-103,01	-48,07	54,94	-104,68	-46,42	58,26
98-103	-104,36	-42,98	61,38	-101,48	-50,36	51,12	-105,04	-47,36	57,68
103-108	-103,4	-35,33	68,07	-100,09	-41,12	58,97	-105,15	-41,84	63,31
88.1	-114,22	-46,81	67,41	-112,46	-63,37	49,09	-114,87	-59,6	55,27
91.3	-102,48	-53,07	49,41	-111,52	-60,46	51,06	-114,53	-63,58	50,95
94.1	-101,58	-66,29	35,29	-111,83	-80,44	31,39	-109,48	-67,71	41,77
97.7	-109,25	-41,39	67,86	-112,87	-65,1	47,77	-114,5	-53,03	61,47
102.5	-110,43	-61,25	49,18	-102,78	-78,88	23,9	-116	-77,02	38,98
105.3	-108,28	-44,79	63,49	-105,9	-45,96	59,94	-113,16	-45,64	67,52
107.3	-110,58	-52,87	57,71	-105,46	-53,01	52,45	-112,9	-53,95	58,95

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La construcción mixta 1 corresponde al Laboratorio de Automatización de la Facultad de Informática y Electrónica, de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, como se observa en la tabla 2-3, la señal que es más vulnerable a las atenuaciones es la ubicada en la frecuencia de 102.5 MHz, correspondiente a la emisora Cumbre FM, mientras que la que presenta mayor grado de inmunidad es la frecuencia 105.3 MHz de la Radio Asamblea Nacional al igual que en la edificación de vidrio analizada.

La construcción mixta 2 corresponde a las aulas prefabricadas de la Facultad de Informática y Electrónica, según los datos obtenidos se conoce que la frecuencia que presenta una relación de

señal a ruido menor es la 102.5 MHz, al igual que en la construcción mixta 1. De igual manera, la Radio Asamblea Nacional es la que lidera las emisoras con la señal más limpia, menos atenuada de las siete descritas anteriormente.

Otro cálculo importante de la relación señal a ruido se realiza en el material ladrillo, en la tabla 3-3 se detallan los valores de las mediciones obtenidas en el Instituto Iprex y la Federación Deportiva de Chimborazo. En la primera comparación se concluye que la Radio Cumbre FM es la más vulnerable a interferencias y atenuaciones, mientras que la señal más resistente a estos factores es la 105.3 MHz, perteneciente a la Radio Asamblea Nacional.

Para la siguiente locación, las variaciones de señal a ruido son notables, sin embargo, la señal más débil continúa siendo la de Radio Cumbre 102.5 y la más potente es la de la frecuencia 105.3 MHz, es decir, que pese al cambio en los valores de la relación señal a ruido, los máximos y mínimos recaen en las mismas emisoras radiales, lo que se considera como un patrón importante para futuros análisis de las pérdidas por inserción a las que están expuestas las señales de radiofrecuencia.

Tabla 3-3 Relación señal a ruido en Ladrillo

Frecuencia (MHz)	Ladrillo iPREX			Ladrillo FDCh		
	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)
88-93	-101,61	-56,7	44,91	-104,12	-51,45	52,67
93-98	-103,39	-57,85	45,54	-103,77	-52,04	51,73
98-103	-104,94	-61,07	43,87	-105,28	-57,8	47,48
103-108	-105,5	-53,9	51,6	-102,12	-43,47	58,65
88.1	-111,53	-72,83	38,7	-111,24	-64,4	46,84
91.3	-110,73	-73,54	37,19	-110,7	-62,54	48,16
94.1	-111,86	-66,46	45,4	-114,33	-70,61	43,72
97.7	-112,97	-58,62	54,35	-113,93	-58,25	55,68
102.5	-112,89	-75,94	36,95	-114,56	-74,87	39,69
105.3	-114,6	-53,66	60,94	-111,4	-51,79	59,61
107.3	-115,39	-63,06	52,33	-114,76	-60,15	54,61

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La próxima tasa de señal a ruido a comparar es en base a las mediciones de potencia tomadas en una vivienda de construcción mixta de la ciudad de Riobamba ubicada en la parroquia Lizarzaburu, que tiene línea de vista con el Cerro Hignug Cacha, donde se encuentra la mayoría

de antenas transmisoras. Los datos que se encuentran en la tabla 4-3 muestran que la banda cuatro, de 103 a 108 MHz, es la más resistente frente a las pérdidas de inserción, mientras que la emisora Cumbre 102.5 continúa siendo la más propensa a ser afectada por las atenuaciones.

Tabla 4-3 Relación señal a ruido en vivienda

Frecuencia (MHz)	Vivienda		
	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	S/R (dB)
88-93	-104,12	-46,64	57,48
93-98	-103,05	-41,71	61,34
98-103	-104,07	-49,96	54,11
103-108	-102,92	-36,43	66,49
88.1	-114,82	-49,62	65,2
91.3	-111,24	-56,34	54,9
94.1	-106,58	-66,39	40,19
97.7	-107,1	-45,2	61,9
102.5	-112,37	-79,92	32,45
105.3	-106,68	-45,24	61,44
107.3	-108,51	-53,56	54,95

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Finalmente, se analiza la relación señal a ruido en el subterráneo del local Multiplaza – Riobamba, es un parqueadero muy frecuentado por la ciudadanía, los receptores de radio más populares en el lugar son los de carro, pero se ha evidenciado que cuando se ingresa se pierde por completo la señal, los equipos no pueden demodular las ondas debido a su baja potencia.

Como se observa en la tabla 5-3, la relación señal a ruido es extremadamente baja en comparación a los demás materiales de construcción, la frecuencia que más se atenúa es la 94.1 MHz, correspondiente a la emisora Identidad Cultural, mientras que, la frecuencia menos vulnerable es la Radio Asamblea Nacional, que pese a tener la relación de señal a radio más alta tampoco se puede escuchar en el receptor.

Tabla 5-3 Relación señal a ruido en subterráneo

Frecuencia (MHz)	Subterráneo		
	Ruido	Señal	S/R (dB)

	(dBm)	(dBm)	
88-93	-90,27	-81,06	9,21
93-98	-88,42	-79,88	8,54
98-103	-84,13	-76,05	8,08
103-108	-90,9	-75,36	15,54
88.1	-106,32	-90,33	15,99
91.3	-104,02	-100,88	3,14
94.1	-99,92	-98,99	0,93
97.7	-99,6	-94,02	5,58
102.5	-98,59	-94,75	3,84
105.3	-99,27	-82,96	16,31
107.3	-100,31	-94,95	5,36

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

3.3 Comparación de mediciones outdoor e indoor.

La primera comparación Indoor y Outdoor que se realiza es de las mediciones tomadas en la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. En la tabla 6-3 se detallan las mediciones de potencia de las ondas de radio primero para ambientes de exteriores, luego, se ubican los valores de la potencia en ambientes de interiores, en edificaciones de construcción mixta, bloque y vidrio.

Tabla 6-3 Medición de potencia en diferentes materiales – ARCOTEL.

Descripción	Frecuencia (MHz)	Potencia de la señal recibida (dBm)			
		Outdoor	Indoor		
			Construcción Mixta	Bloque	Vidrio
Sub Banda 1	88-93	-42,65	-51,77	-52,91	-55,37
Sub Banda 2	93-98	-39,99	-52,72	-50,93	-47,51
Sub Banda 3	98-103	-41,92	-51,9	-57,4	-51,41
Sub Banda 4	103-108	-45,6	-56,86	-59,6	-45,67
Emisora 1	88.1	-55,56	-76,07	-65,28	-56,44
Emisora 2	91.3	-52,56	-59,3	-61,36	-59,61
Emisora 3	94.1	-76,63	-77,85	-78,29	-77,42
Emisora 4	97.7	-47,64	-57,49	-66,3	-57,4
Emisora 5	102.5	-55,34	-58,58	-63,66	-70,7
Emisora 6	105.3	-43,09	-62,94	-70,45	-47,12
Emisora 7	107.3	-57,7	-62,9	-58,69	-57,8

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Para realizar la respectiva comparación se procede a diferenciar los picos de señal obtenidos en la señal outdoor y los picos de la señal indoor de las edificaciones de construcción mixta, que representan la potencia recibida por el radioescucha.

Tabla 7-3 Señal Outdoor vs. Construcción mixta

Descripción	Frecuencia (MHz)	Diferencia de señales (dB) Outdoor – Construcción mixta
Sub Banda 1	88-93	9,12
Sub Banda 2	93-98	12,73
Sub Banda 3	98-103	9,98
Sub Banda 4	103-108	11,26
Emisora 1	88.1	20,51
Emisora 2	91.3	6,74
Emisora 3	94.1	1,22
Emisora 4	97.7	9,85
Emisora 5	102.5	3,24
Emisora 6	105.3	19,85
Emisora 7	107.3	5,2
Promedio		9,97

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

En la tabla 7-3 se observa que el máximo valor encontrado entre los picos pertenece a la Emisora 1, ya que la diferencia entre la señal outdoor y de construcción mixta es de 20,51 dB, lo que indica que la atenuación es considerable en este tipo de construcción para la Radio Pública del Ecuador, pese a que su transmisor está ubicado en el Cerro Hignug Cacha de la provincia de Chimborazo, la atenuación mínima por construcción mixta que se evidencia es la de la frecuencia 102.5 MHz de Radio Cumbre.

Un valor importante que se obtiene de la tabla 7-3 es el promedio de las pérdidas de inserción de construcción mixta, correspondiente a 9,97 dB, valor que va a ser utilizado en el software de simulación de enlaces de radio para calcular el presupuesto de potencia de enlace.

La siguiente comparación se realiza entre las mediciones outdoor de la Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones y una edificación de bloque perteneciente a la misma institución.

Tabla 8-3 Potencia de señal Outdoor vs. Bloque

Descripción	Frecuencia (MHz)	Diferencia de señales (dB) Outdoor – Bloque
Sub Banda 1	88-93	10,26
Sub Banda 2	93-98	10,94
Sub Banda 3	98-103	15,48
Sub Banda 4	103-108	14
Emisora 1	88.1	9,72
Emisora 2	91.3	8,8
Emisora 3	94.1	1,66
Emisora 4	97.7	18,66
Emisora 5	102.5	8,32
Emisora 6	105.3	27,36
Emisora 7	107.3	0,99
Promedio		11,47

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

En la tabla 8-3 se observa que la señal que sufre más atenuaciones por el material bloque es la Emisora 6, frecuencia de la Radio Asamblea Nacional, con una pérdida de 27,36 dB y la menos vulnerable a este tipo de material de construcción es la Emisora 7, correspondiente a la Radio Stereo Familiar 107.3. El promedio de atenuaciones es de 11,47 dB, 1,5 decibelios más alto que el promedio de la señal recibida en construcciones mixtas, por lo que se determina que el bloque es un material en el que se tienen pérdidas por inserción mayores.

La diferencia de potencia de entre un ambiente outdoor y una edificación de vidrio se encuentra en la tabla 9-3, las pérdidas por inserción que sufre la señal en este tipo de material son relativamente bajas, la mayor diferencia entre la señal outdoor e indoor corresponde a la frecuencia 102.5 MHz de Radio Cumbre FM, mientras que la onda que menos se atenúa es la de la Radio Stereo Familiar, con su transmisor en el cerro Hignug Cacha, que casi no sufre degradación al ingresar a la edificación de vidrio. El promedio de pérdidas es bajo, son 6,16 decibelios de atenuación de señal.

Tabla 9-3 Potencia de la señal outdoor vs. Vidrio

Descripción	Frecuencia (MHz)	Diferencia de señales (dB) Outdoor – Vidrio
Sub Banda 1	88-93	12,72
Sub Banda 2	93-98	7,52
Sub Banda 3	98-103	9,49
Sub Banda 4	103-108	0,07
Emisora 1	88.1	0,88
Emisora 2	91.3	7,05
Emisora 3	94.1	0,79
Emisora 4	97.7	9,76
Emisora 5	102.5	15,36
Emisora 6	105.3	4,03
Emisora 7	107.3	0,1
Promedio		6,16

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La siguiente comparación que se realiza corresponde a Receptores ubicados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, las mediciones obtenidas se presentan en la tabla 10-3, se ordenan de acuerdo al material de construcción.

Tabla 10-3 Medición de potencia en diferentes materiales – ESPOCH.

Potencia de la señal recibida (dBm)				
Descripción	Frecuencia (MHz)	Outdoor	Indoor	
			Construcción Mixta 1	Construcción Mixta 2
Sub Banda 1	88-93	-44,66	-50	-48,09
Sub Banda 2	93-98	-38,48	-48,07	-46,42
Sub Banda 3	98-103	-42,98	-50,36	-47,36
Sub Banda 4	103-108	-35,33	-41,12	-41,84
Emisora 1	88.1	-46,81	-63,37	-59,6
Emisora 2	91.3	-53,07	-60,46	-63,58
Emisora 3	94.1	-66,29	-80,44	-67,71
Emisora 4	97.7	-41,39	-65,1	-53,03
Emisora 5	102.5	-61,25	-78,88	-77,02
Emisora 6	105.3	-44,79	-41,96	-45,64
Emisora 7	107.3	-52,87	-48,41	-49,95

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

En la tabla 11-3 se muestra la diferencia entre la potencia de señales outdoor y mixta de las dos locaciones analizadas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Para el primer caso, la

frecuencia radial que más se atenúa es la emisora 102.5 MHz de Radio Cumbre FM, es lógico, porque en el análisis de relación señal a ruido realizado ésta era la emisora más vulnerable a las atenuaciones. Al igual que en el análisis anterior, la frecuencia que menos se atenúa es la 107.3 de Radio Stereo Familiar, con un margen de 0,14 dB entre la señal outdoor e indoor.

Para el segundo caso de la edificación de construcción mixta, se observa que los resultados son similares a la comparación anterior en cuanto a la frecuencia más atenuada, continúa siendo la de Radio Cumbre, mientras que la menos atenuada ya no es Stereo Familiar, si no que corresponde a la frecuencia 105.3 MHz, perteneciente a Radio Asamblea Nacional.

El promedio de pérdidas por inserción en el primer tipo de construcción mixta es de 9,90 dB, mientras que en el segundo caso decae a 6,94, estos valores serán muy tomados en cuenta al momento de realizar la simulación de enlaces de radio, específicamente cuando se calcule el presupuesto de potencia de enlace, para determinar si los parámetros bajo los cuales se realiza la comunicación son los adecuados y efectivos en beneficio del radioescucha.

Tabla 11-3 Potencia de la señal outdoor vs. mixta

Descripción	Frecuencia (MHz)	Diferencia de señales (dB) Outdoor – Mixta 1	Diferencia de señales (dB) Outdoor – Mixta 2
Sub Banda 1	88-93	5,34	3,43
Sub Banda 2	93-98	9,59	7,94
Sub Banda 3	98-103	7,38	4,38
Sub Banda 4	103-108	5,79	6,51
Emisora 1	88.1	16,56	12,79
Emisora 2	91.3	7,39	10,51
Emisora 3	94.1	14,15	1,42
Emisora 4	97.7	23,71	11,64
Emisora 5	102.5	17,63	15,77
Emisora 6	105.3	1,17	0,85
Emisora 7	107.3	0,14	1,08
Promedio		9,90	6,94

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

3.4 Comparación de mediciones tomadas en un mismo material.

La comparación de mediciones de potencia en edificaciones de un mismo material es esencial porque permite analizar las variaciones presentadas en los valores de atenuaciones en función de la ubicación de los radiorreceptores. Primero, se analizan las atenuaciones en edificaciones de construcción mixta con el objetivo de determinar un promedio entre la variación de potencia de la señal indoor y outdoor e incluirlo en el programa de simulación de radioenlaces como un factor de pérdidas por inserción.

Tabla 12-3 Comparación de potencia en construcciones mixta

ARCOTEL			Laboratorio de automatización ESPOCH			Aulas prefabricadas ESPOCH			Vivienda		
Ruido (dBm)	Señal (dBm)	Diferencia outdoor (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	Diferencia outdoor (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	Diferencia outdoor (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	Diferencia outdoor (dB)
-89,09	-51,77	9,12	-101,58	-50	5,34	-104,79	-48,09	3,43	-104,12	-46,64	1,98
-92,64	-52,72	12,73	-103,01	-48,07	9,59	-104,68	-46,42	7,94	-103,05	-41,71	13,23
-91,84	-51,9	9,98	-101,48	-50,36	7,38	-105,04	-47,36	4,38	-104,07	-49,96	6,98
-92,23	-56,86	11,26	-100,09	-41,12	5,79	-105,15	-41,84	6,51	-102,92	-36,43	11,1
-99,96	-76,07	20,51	-112,46	-63,37	16,56	-114,87	-59,6	12,79	-114,82	-49,62	2,81
-96,63	-59,3	6,74	-111,52	-60,46	7,39	-114,53	-63,58	10,51	-111,24	-56,34	3,27
-98,78	-75,85	1,22	-111,83	-80,44	14,15	-109,48	-67,71	1,42	-106,58	-60,39	0,1
-99,64	-57,49	9,85	-112,87	-65,1	23,71	-114,5	-53,03	11,64	-107,1	-45,2	3,81
-100,31	-58,58	3,24	-102,78	-78,88	17,63	-116	-77,02	15,77	-112,37	-79,92	18,67
-101,02	-62,94	19,85	-105,9	-41,96	1,17	-113,16	-45,64	0,85	-106,68	-38,24	0,45
-98,15	-62,9	5,2	-105,46	-48,41	0,14	-112,9	-49,95	1,08	-108,51	-43,56	0,69
Promedio		9,97	Promedio		9,9	Promedio		6,94	Promedio		5,74

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

A partir de los promedios obtenidos en la tabla 12-3 se obtiene un factor de atenuación para el presupuesto de enlace, una vez que se realiza el cálculo de potencia final se resta el valor de 8,27 dB correspondientes a las pérdidas de inserción por construcción mixta.

El siguiente material a comparar es el ladrillo, de manera similar a la construcción mixta se procede a diferenciar la señal indoor y outdoor en la tabla 13-3, se obtiene el promedio de ambas ubicaciones de los radiorreceptores para finalmente calcular un factor de pérdidas de inserción por edificaciones de ladrillo de 12,41 dB y realizar la respectiva simulación.

Tabla 13-3 Comparación de potencia en ladrillo

iPREX			FDCh		
Ruido (dBm)	Señal (dBm)	Diferencia outdoor (dB)	Ruido (dBm)	Señal (dBm)	Diferencia outdoor (dB)
-101,61	-56,7	12,04	-104,12	-51,45	6,79
-103,39	-57,85	19,37	-103,77	-52,04	13,56
-104,94	-61,07	18,09	-105,28	-57,8	14,82
-105,5	-53,9	18,57	-102,12	-43,47	8,14
-111,53	-72,83	26,02	-111,24	-64,4	17,59
-110,73	-73,54	20,47	-110,7	-62,54	9,47
-111,86	-61,46	0,17	-114,33	-70,61	4,32
-112,97	-58,62	17,23	-113,93	-58,25	16,86
-112,89	-75,94	14,69	-114,56	-74,87	13,62
-114,6	-53,66	8,87	-111,4	-51,79	7
-115,39	-63,06	10,19	-114,76	-60,15	7,28
Promedio		15,06	Promedio		10,86

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

3.5 Simulación de pérdidas de inserción

El programa de simulación de radioenlaces plantea un escenario real de radiodifusión, se empieza con la transmisión desde los estudios radiales, en donde se debe conocer la potencia del transmisor e ingresar el respectivo valor en Watts, en caso de que se tenga el valor en mW, dBW o dBm se puede realizar una transformación.

En la pestaña unidades del menú principal del programa, submenú conversiones, que permite transformar unidades de potencia y de ganancia, para este caso, se utilizan las herramientas gráficas de Visual Basic, el manejo es intuitivo pues se cuentan con los botones convertir y reiniciar, el resultado se muestra en un cuadro de texto junto a la unidad Watts, como se muestra en la figura 1-3.

Figura 1-3 Conversión de unidades de potencia y ganancia

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

El resultado obtenido en Watts es el que se debe ingresar en el cuadro de texto de la Potencia de transmisión, cabe resaltar que se restringe la inserción de datos no numéricos como caracteres especiales, letras, o espacios en blanco utilizando la estructura de control y decisión If then elseif, mediante el código que se muestra en la figura 2-3.

```
Private Sub TextBox1_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles TextBox1.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    End If
End Sub
```

Figura 2-3 Código de control para caracteres no numéricos

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

El siguiente parámetro a ingresar es la ganancia del amplificador del estudio de radio en decibelios, de manera similar al caso anterior, si no se conoce este valor en las respectivas unidades se pueden hacer las transformaciones. En caso de no contar con datos técnicos acerca del transmisor de radio se puede acudir al menú “Equipos transmisores”, submenú Transmisores FM en donde se describen varios tipos de transmisores clasificados por su potencia de emisión, como se muestra en la figura 3-3.

Se detalla una ficha técnica que incluye el rango de frecuencia, potencia de salida, impedancia de salida, pérdida de retorno, conector de salida, emisión de espúros, estabilidad de frecuencia, tipo de modulación, ruido de frecuencia modulada, tipo de alimentación, consumo y dimensiones.

Equipos transmisores

Seleccione la potencia de transmisor

- ☐ 10 Watts
- ☐ 25 Watts
- ☒ 50 Watts
- ☐ 100 Watts
- ☐ 150 Watts
- ☐ 250 Watts
- ☐ 300 Watts
- ☐ 350 Watts
- ☐ 500 Watts
- ☐ 1000 Watts

FICHA TÉCNICA

Transmisor FM de 50 Watts

RANGO DE FRECUENCIA	87.8 a 108MHz
POTENCIA DE SALIDA	50 Watts
IMPEDANCIA DE SALIDA	50 Ohmios
PERDIDA DE RETORNO	> 26dB
CONECTOR DE SALIDA	Type N (jack)
EMISION DE ESPURIOS	73+P (dBKdBS)
ESTABILIDAD DE FRECUENCIA	< +/- 2kHz
TIPO DE MODULACION	FM @ +/- 75kHz
RUIDO DE FM	> 60dB
RUIDO DE AM	> 50 dB
ALIMENTACION	110/220Vac
CONSUMO	0.1kVA y 0.3kVA
DIMENSIONES (en mm)	88 X 482 X 310mm (25W)

Tx

Figura 3-3 Detalles técnicos de equipos Transmisores FM

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Luego, se debe ingresar las pérdidas del cable en decibelios por cada cien metros y la longitud del mismo, en caso de no conocer los tipos de cables disponibles para realizar un radioenlace se puede consultar el menú Cables que cuenta con un submenú que enlista cuatro tipos de cables más utilizados, entre ellos están: HELIAX, RG, LMR y Flexline, como se observa en la imagen 4-3.

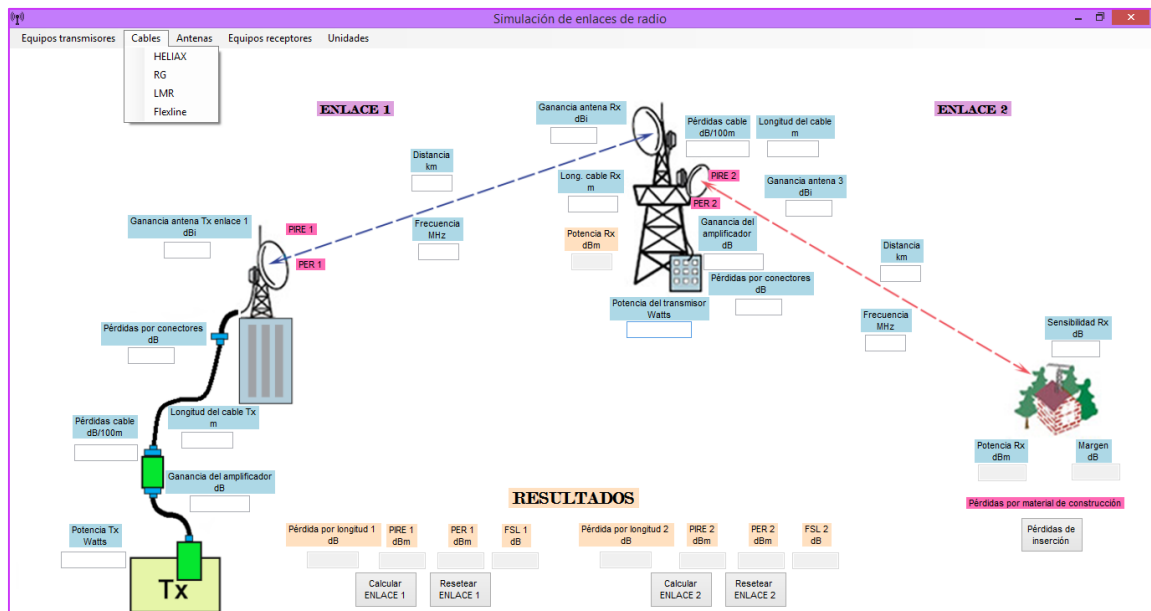


Figura 4-3 Tipos de cable para enlaces de radio

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Al ingresar a la categoría HELIAX del submenú se encuentra una breve descripción de este tipo de cables y dos de los más usados, que son HELIAX 1/2" y HELIAX 7/8", estos cables tienen un centro conductor sólido o tubular con un conductor extremo sólido y corrugado que lo hace flexible, pueden constituirse de dos formas: utilizando aire o espuma para el dieléctrico.

Los cables Heliac para dieléctrico son los más caros y garantizan una menor pérdida. Cada tipo de cable cuenta con su respectiva hoja de datos, con el objetivo de permitir al usuario investigar la pérdida por cada cien metros dependiendo de la frecuencia de operación del sistema e ingresar el valor más adecuado en el simulador de enlaces de radio.



Figura 5-3 Cables HELIAX

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Para que las hojas de datos sean visibles se tiene que dar clic en la etiqueta que es un enlace a un documento portable que cuenta con datos específicos de los cables HELIAX, la información más importante que se busca es el valor de pérdidas ocasionada por cables en base a la frecuencia de trabajo, en la figura 6-3 se observa la tabla de atenuaciones del cable HELIAX 7/8".

Attenuation

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)
0.5	0.081	0.025	91.00
1	0.115	0.035	79.19
1.5	0.141	0.043	64.60
2	0.163	0.05	55.89
10	0.366	0.112	24.81
20	0.521	0.159	17.44
30	0.641	0.195	14.18
50	0.833	0.254	10.91
88	1.116	0.34	8.14
100	1.193	0.364	7.62
108	1.242	0.378	7.32
150	1.475	0.449	6.16

www.commscope.com/andrew

©2010 CommScope, Inc. All rights reserved.
All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks or trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change.
See www.commscope.com/andrew for the most current information.

Join the Evolution

page 2 of 3
4/12/2010

Figura 6-3 Atenuación del cable HELIAX 7/8"

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La siguiente opción, mostrada en la figura 7-3, corresponde a los cables de tipo RG, que son populares en el campo de las telecomunicaciones para transportar señales eléctricas de alta frecuencia, se enlistan tres tipos, RG-6, RG-11 y RG-58, cada uno cuenta con sus hojas de datos para mayor información.



Figura 7-3 Cables RG

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La siguiente opción del submenú en cuanto a cables para los enlaces de radio corresponde a los de tipo LMR, que se caracterizan por su flexibilidad y buen rendimiento, se cuenta con sus respectivas imágenes, descripción y hoja de datos técnicos, como se muestra en la figura 8-3, dicha información no requiere de condiciones adicionales para su visualización, solamente se requiere que el ordenador donde se ejecute el programa cuente con un lector de archivos pdf.



Figura 8-3 Cables LMR

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Finalmente se detallan los cables FLEXLINE que son corrugados, se utilizan para realizar un enlace entre la estación de radio y la antena transmisora del enlace, es adecuado para condiciones críticas de exteriores puesto que es bastante resistente a factores atmosféricos.



Figura 9-3 Cables FLEXLINE

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Después de ingresar las pérdidas de los cables y su longitud, se tiene que colocar las pérdidas por conectores, en condiciones normales cada elemento afecta al presupuesto de potencia de enlace con una atenuación de 1 dB por conector, se tendrá que registrar cuántos conectores existen entre el amplificador y la antena transmisora para obtener los valores de pérdidas.

El siguiente parámetro a ingresar es la ganancia de la antena transmisora en dBi, ésta enviará su señal hasta una antena receptora, en este punto del enlace se puede calcular la Potencia Efectiva Radiada y la Potencia Isotrópica Efectiva Radiada. Posteriormente, se ingresa la frecuencia de operación a la que se envían las ondas de radio, la distancia existente entre antena transmisora y receptora, la ganancia de ésta última y la longitud del cable con que se conecta al equipo receptor. En caso de que no se conozca una antena adecuada para el radioenlace se puede acudir al menú Antenas (ver Figura 10-3)

En el submenú se encuentran varios tipos de antenas de polarización circular para la radiodifusión, en el formulario se detalla una breve descripción de estos dispositivos utilizados para la transformación de una señal RF a ondas electromagnéticas, además se cuenta con las hojas de datos de cada antena y de su respectivo patrón de radiación, para que el usuario del programa que va a realizar el radioenlace decida el arreglo adecuado para propagar la señal de radio.



Figura 10-3 Antenas para enlaces de radio

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

En la figura 11-3 se muestran las especificaciones técnicas de las antenas de polarización circular de tipo GP, se encuentran los sistemas disponibles para apilamientos de varias antenas GP separadas $3/4\lambda$ entre sí con su respectiva ganancia en dBd, a este valor habrá que sumar 3 dB en el caso que se considere una polarización horizontal y vertical, el más común el arreglo de 4 antenas.



Figura 11-3 Especificaciones técnicas de antenas GP

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Finalmente se encuentra la opción de visualización del patrón de radiación para las antenas de polarización circular, este patrón se encuentra como imagen al dar clic en la etiqueta de la

antena deseada, brindará al usuario la opción de escoger con qué tipo de polarización trabajar para en enlace de radio y en base a esto saber la ganancia de la antenna que deberá ser expresada en dBi. Una condición importante al momento de realizar los cálculos es ingresar una ganancia igual entre la antenna transmisora y receptora del primer enlace, ya que en un escenario real se trabaja bajo los mismos parámetros.

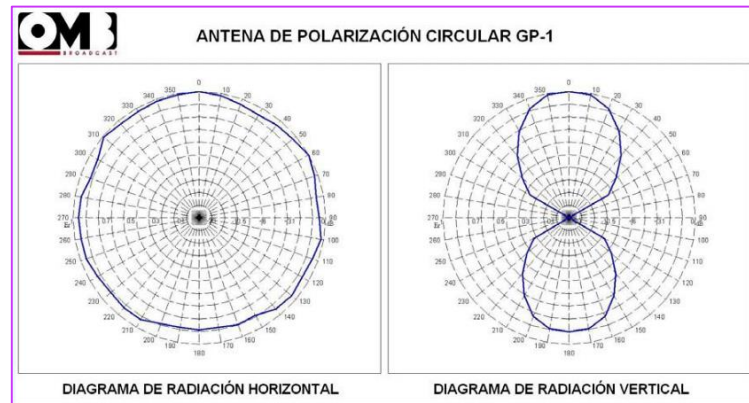


Figura 12-3 Diagrama de radiaciones de antenas GP

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Una vez ingresados todos los parámetros se procede a programar un botón que permita realizar el cálculo del enlace uno, para que en la sección resultados se obtenga la potencia recibida, la pérdida por longitud del cable, la Potencia Efectiva Radiada, la Potencia Isotrópica Efectiva Radiada y las pérdidas en el espacio libre, la subrutina utilizada para la programación se describe en la figura 13-3.

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
    Dim Ptx, A, B, C, D, gan, F, G, FSL1, PER1, PIRE1, atcable, dbd, Prx, ganrx, lcablerx, atcablerx As Double

    Ptx = TextBox1.Text 'Potencia del transmisor en watts
    A = TextBox2.Text 'Ganancia del amplificador
    B = TextBox3.Text 'Pérdidas del cable
    C = TextBox4.Text 'Longitud del cable Tx
    D = TextBox5.Text 'Pérdidas por conectores
    gan = TextBox6.Text 'Ganancia de la antenna Tx dbi
    F = TextBox9.Text 'Distancia
    G = TextBox10.Text 'Frecuencia
    ganrx = TextBox28.Text 'Ganancia de la antenna Rx dbi
    lcablerx = TextBox30.Text 'Longitud del cable Rx
    dbd = gan - 2.15 'Ganancia de la antenna en dbd dbi=dbd-2.15

    atcable = (B * C) / 100 'Atenuación del cable según la longitud
    TextBox12.Text = atcable
    atcablerx = (B * lcablerx) / 100

    PIRE1 = (10 * Log10(Ptx) + 30) + A - atcable - D + gan 'De watts a dBm: 10LogX+30
    TextBox7.Text = PIRE1
    PER1 = (10 * Log10(Ptx) + 30) + A - atcable - D + dbd
    TextBox8.Text = PER1

    FSL1 = 32.4 + (20 * Log10(F)) + (20 * Log10(G))
    TextBox11.Text = FSL1

    Prx = PIRE1 - FSL1 + ganrx - atcablerx
    TextBox27.Text = Prx
End Sub
```

Figura 13-3 Subrutina de cálculo del presupuesto de enlace

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

El siguiente ítem en el menú es de equipos receptores, en donde se detallan los dos modelos más populares de receptores utilizados por los usuarios, que son los de automóviles y los portátiles para los hogares, además se tiene un enlace con las características técnicas de cada equipo para facilitar la comprensión del enlace de radio al usuario, quien en este punto es el principal sujeto de análisis.



Figura 14-3 Equipos receptores

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

La última opción del menú corresponde al Modelamiento de atenuaciones, en el submenú pérdidas de inserción se puede calcular la atenuación en decibelios ocasionada por los diferentes materiales de construcción seleccionados, los datos necesarios para esta operación son: la frecuencia de la emisora radial y el material de construcción, en el botón Calcular se obtiene la pérdida, además se grafica la función racional correspondiente a cada material, como se observa en la figura 15-3.

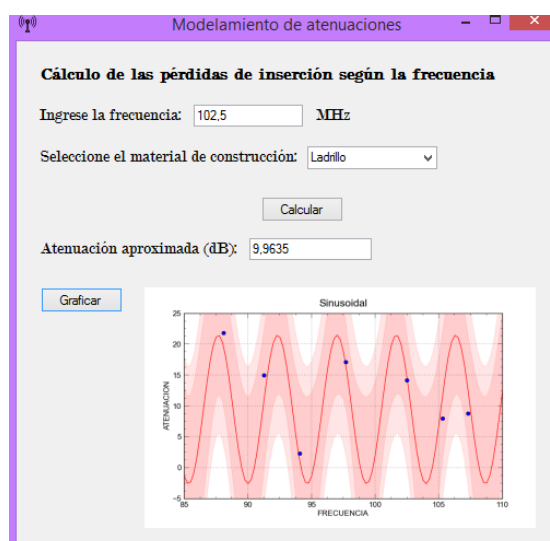


Figura 15-3 Modelamiento de atenuaciones

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Finalmente se realiza la ejecución del programa de simulación de radio, haciendo un especial énfasis en las pérdidas por inserción. Los datos ingresados corresponden a un enlace de radio real, basado en los parámetros normales permitidos por los entes reguladores de las Telecomunicaciones del Ecuador, la aplicación se muestra en la figura 16-3.

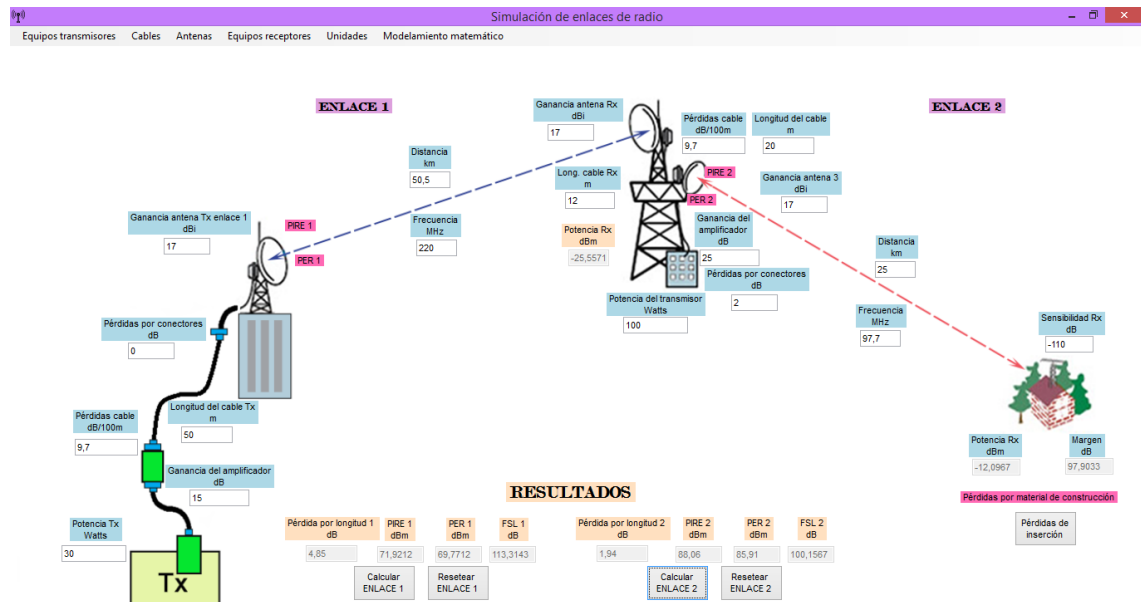


Figura 16-3 Ejecución del programa de simulación de radio.

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

Además, se calculan las pérdidas de inserción en base a todos los materiales de construcción utilizados, la programación se encuentra en un formulario específico de resultados, se muestra en la figura 17-3. También se detalla un cálculo para la tasa de señal a ruido una vez que el usuario ingrese el piso de ruido de la señal de radio medida.

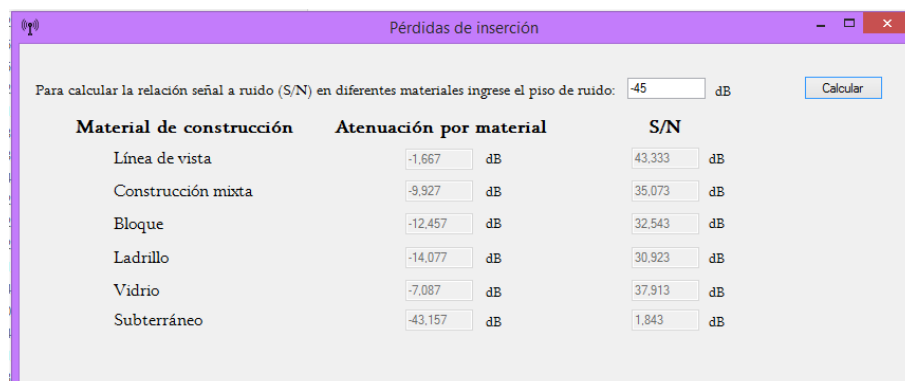


Figura 17-3 Pérdidas de inserción

Realizado por: UQUILLAS, Gabriela, 2016

CONCLUSIONES.

En este trabajo de titulación se demuestra que al medir la potencia de 121 señales de radio de diferentes bandas de frecuencia y emisoras radiales en la ciudad de Riobamba los valores se encuentran dentro de los parámetros normales establecidos por la Agencia de Control y Regulación de Telecomunicaciones del Ecuador, se comprueba que las emisoras radiales cumplen con la potencia de transmisión adecuada.

También se analizan las atenuaciones producidas por diferentes materiales de construcción como bloque, ladrillo, construcción mixta, vidrio y subterráneo, mediante la comparación de la potencia recibida en ambientes exteriores y cada uno de los distintos materiales.

Una vez realizadas las mediciones, se procesan sistemáticamente los datos con el objetivo de calcular la relación señal a ruido para definir la potencia de la señal medida y la potencia del ruido interferente, ya que mientras más alto es el valor de dicha relación, la señal recibida por el usuario es más clara e inmune a interferencias.

El piso de ruido y la señal medida están en dBm, por lo que es posible realizar una resta para conocer la tasa de señal a ruido. Luego de realizado el cálculo se concluye que la emisora más inmune al ruido generado en el ambiente es la frecuencia 105.3 MHz, correspondiente a Radio Asamblea Nacional, debido a su alto coeficiente en la relación señal a ruido, mientras que, la señal más vulnerable a las atenuaciones y pérdidas pertenece a la emisora 94.1 MHz de Identidad Radio Cultural que sitúa sus equipos transmisores en el cerro La Mira para brindar cobertura a la ciudad de Riobamba.

Para el modelamiento matemático primeramente se definen las variables, dependiente e independiente, la primera corresponde a la frecuencia de las emisoras seleccionadas, mientras que la variable dependiente es la atenuación de la onda de radio.

El modelo matemático se valida en base al coeficiente de determinación de cada función polinómica, racional o senoidal ajustada a las curvas de pérdidas por inserción, este coeficiente es un valor entre 0 y 1 que mide la bondad del ajuste o fiabilidad del modelo estimado para los datos medidos, mientras este valor se acerca más a uno se dice que el modelamiento matemático es confiable y adecuado para las curvas.

Dentro de este marco de ideas, se propone un modelo matemático para las atenuaciones ocasionadas por el material bloque con un coeficiente de determinación de 0.70517, para el material ladrillo un coeficiente de 0.81355, el modelamiento para las edificaciones de construcción mixta que se sugiere posee un coeficiente de 0,96133, para el material vidrio es de 0,83188, finalmente para el subterráneo el coeficiente de determinación es de 0.57844.

Por lo que, la función con mayor precisión de ajuste corresponde a las edificaciones de construcción mixta. Cada función obtenida pretende generalizar las pérdidas de inserción, por lo tanto, puede ser evaluada para cualquier emisora de la banda de radiodifusión en frecuencia modulada, es decir, de 88 a 108 MHz.

Después de realizar los respectivos procedimientos matemáticos como promedios y modelamientos por medio de ajustes de curvas se llega a la determinación que la señal de radio sufre atenuaciones en cada uno de los materiales de construcción analizados, en el material bloque las pérdidas son de aproximadamente 10.97 decibelios, para el material ladrillo las pérdidas son de 12.41 dB, en las edificaciones de construcción mixta la señal de radio se atenúa alrededor de 8.26 dB, mientras que, para el material vidrio la pérdida es de 5.42 decibelios y finalmente en un ambiente subterráneo la señal sufre una atenuación de 41.5 dB.

Luego de obtener los valores mencionados anteriormente se concluye que el material en el cual la señal es menos propensa a atenuarse con respecto a la línea de vista es el vidrio, mientras que, el material de construcción de más altas pérdidas es el ladrillo. Asimismo se conoce que, en espacios subterráneos la recepción de ondas de radio es casi nula, es imposible su demodulación debido a su elevada atenuación.

El programa medición y simulación de enlaces de radio y atenuaciones producidas por edificaciones que afectan a la banda de radiodifusión en frecuencia modulada en la ciudad de Riobamba propuesto en el presente trabajo investigativo se desarrolla en el software orientado a objetos Visual Studio 2013, consta de una interfaz gráfica amigable, posee un menú de: equipos transmisores, cables, antenas, equipos receptores, conversión de unidades y modelamiento matemático, que facilita la comprensión de un radioenlace al usuario.

Además, se plantea un conjunto de fórmulas que pueden ser evaluadas para cualquier frecuencia de radio, dando como resultado una aproximación de atenuación. Se hace un especial énfasis en las pérdidas de inserción proponiendo un factor de atenuación para los distintos materiales de construcción.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar mediciones periódicas de la señal de potencia emitida por las emisoras radiales en la ciudad de Riobamba para verificar el óptimo funcionamiento de sus equipos de transmisión y su cumplimiento de los parámetros establecidos en la Norma Técnica. En cuanto a los niveles de potencia máximos, éstos deben estar en los valores correctos para que las estaciones de radio no causen posibles interferencias que afecten a la calidad de servicio brindado a los usuarios.
- Que la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones considere 54 dBu/V como valor mínimo de intensidad de campo y 70 dBuV/m como valor óptimo con el objetivo de ofrecer una señal aceptable de transmisión en ciudades
- Colocar antenas de alta penetración con polarización circular, repetidores o amplificadores de señal de radio en los ambientes subterráneos para que la señal no sufra una pérdida de inserción extremadamente alta, de manera que pueda ser demodulada y decodificada por los receptores de carros y portátiles.
- Considerar que hay varios factores responsables de atenuaciones altas en los enlaces de radio, entre ellos los cables y conectores, por lo que se sugiere que dichas pérdidas no sobrepasen el valor de 1.5 decibelios. Además, se debe conservar una longitud aceptable del cable para no generar pérdidas adicionales.
- En cuanto al modelamiento matemático de las atenuaciones, se recomienda calcular ecuaciones racionales o polinómicas de un grado mayor para obtener coeficientes de determinación cercanos a unos, puesto que, representará un ajuste mayor al conjunto de datos obtenidos en las respectivas mediciones de potencia. De igual manera, se sugiere obtener más puntos de medición con el objetivo de generar un panorama más acertado de la potencia y las respectivas pérdidas por inserción.
- Se recomienda continuar investigando en el campo de los radioenlaces y se propone realizar un estudio de atenuaciones similar analizando frecuencias de diferentes servicios de telecomunicaciones como televisión analógica, digital, telefonía móvil, etc.

BIBLIOGRAFÍA

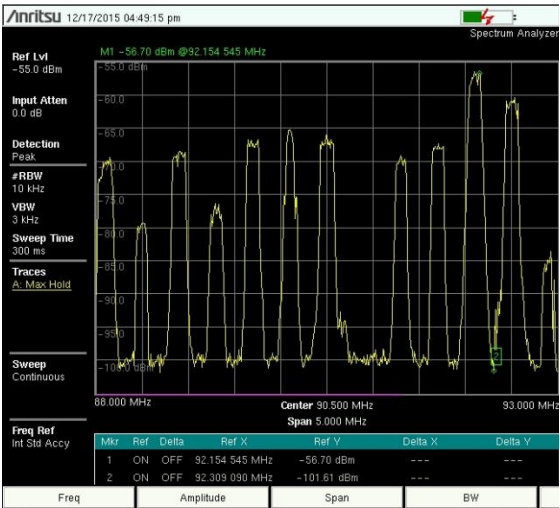
1. **APRENDA VISUAL BASIC 6.0 COMO SI ESTUVIERA EN PRIMERO.** [en línea]
[Consulta: 27 de enero del 2016].
Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/AyudaInf/VisualBasic6/vbasic60.pdf>
2. **CABRERA, Andrea.** Análisis y verificación técnica de la calidad de la Radiodifusión en frecuencia modulada en la ciudad de Riobamba; recomendaciones para su mejoramiento. [en línea] (TESIS). (Ingeniería Electrónica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de Ingeniería Electrónica, Telecomunicaciones y Redes. Riobamba – Ecuador. 2013. pp. 25-48
[Consulta: 22 de noviembre del 2015]
Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3237>
3. **CHAPRA, Steven & CANALE, Raymond.** Métodos Numéricos para ingenieros. 5a ed. Distrito Federal-México. McGraw-Hill. 2007. pp. 35-70.
4. **ECUADOR., AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES (ARCOTEL).** Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada Analógica. [en línea] 2015. pp. 2-7
[Consulta: 12 de octubre del 2015]
Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/content/upload/2015/04/NORMA-TECNICA.pdf>
5. **FINK, DONALD G.** Manual de Ingeniería Electrónica: Sistemas y aplicaciones electrónicas: Telecomunicaciones, Volumen IV. Colombia. McGraw-Hill Interamericana. 1992. pp.15-80.
6. **HERNANDO, José.** Transmisión por radio. 1a ed. Madrid – España. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A. 2010. pp. 19-62, 111-196.
7. **HERRERA, Enrique.** Comunicaciones I, Señales, Modulación y Transmisión. Limusa Noriega Editores. pp. 201-228.

8. **LLANOS, Alonso.** Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador. [en línea] (TESIS). (Maestría). Universidad Andina Simón Bolívar. Programa de Maestría en Derecho y Gestión de las Telecomunicaciones. Quito – Ecuador. 2013. pp. 17-22.
[Consulta: 15 de enero del 2016]
Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/3833/1/SM138-Llanos-Gestion.pdf>
9. **MELVIN, William & SCHEER, James.** [en línea] Principles of Modern Radio Radar: Radar Applications. Stevenage-Reino Unido. Scitech Publishing. 2014. pp. 1-27.
[Consulta: 07 de febrero del 2016]
Disponible en: <http://www.theiet.org/resources/books/rsna/pmfv.cfm>
10. **ORDOÑEZ, Javier.** [en línea] Espectro electromagnético y respecto radioeléctrico. ACTA. 2014.
[Consulta: 18 de diciembre del 2015].
Disponible en: http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf
11. **ONDAS Y RANGOS DE FRECUENCIA** [en línea]
[Consulta: 22 de febrero del 2015].
Disponible en: <http://www.radartutorial.eu/07.waves/pic/radarfrequencies.print.png>
12. **PÉREZ, Constantino.** Capítulo 11: Propagación. Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. [en línea] 2013.
[Consulta: 8 de marzo del 2016].
Disponible en: http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH11ST_Web.pdf
13. **ROBLES, J.** Revista Técnica. Radioenlace Analógico. 2a.ed. Quito-Ecuador. 2005. pp.135.
14. **SANCHIS, E.** Fundamentos y electrónica de las comunicaciones. Valencia-España. Universitat de Valencia, Servei de Publicacions. 2004. pp 21-95.
15. **TOMASI, W.** Electronics communications system fundamentals through advanced. 4a.ed. Barcelona-España. Prentice Hall. 2004. pp. 64-112.

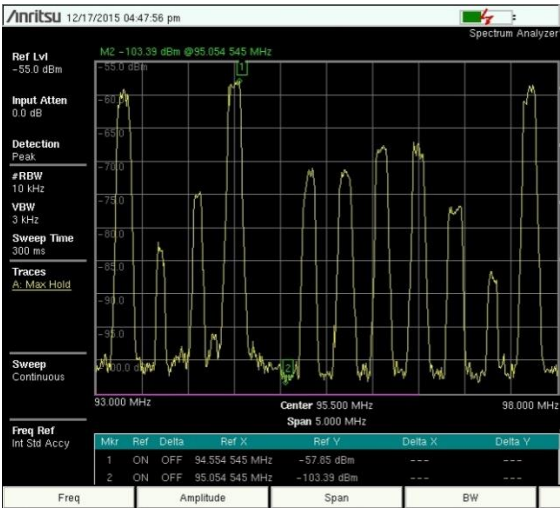
ANEXOS

ANEXO A. MEDICIONES DE POTENCIA DE SUB-BANDAS Y EMISORAS.

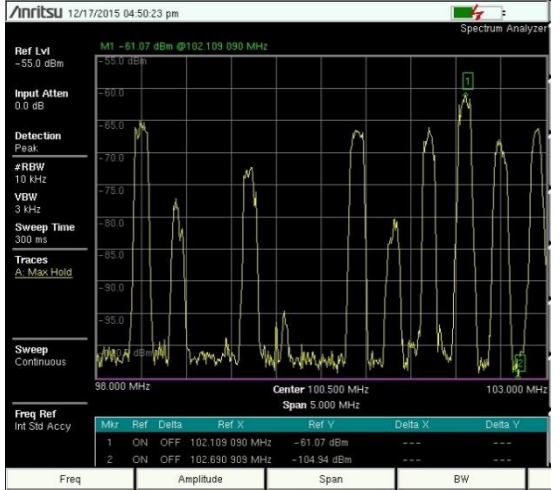
Medición de potencia en el material de construcción ladrillo, en el Instituto de Preparación Iprex Centro.



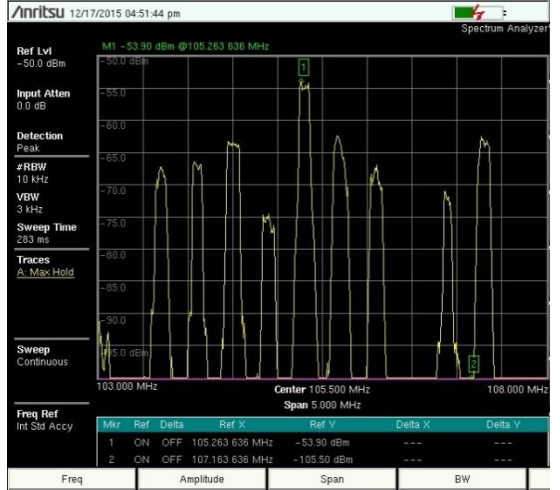
Sub-banda 88 a 93 MHz



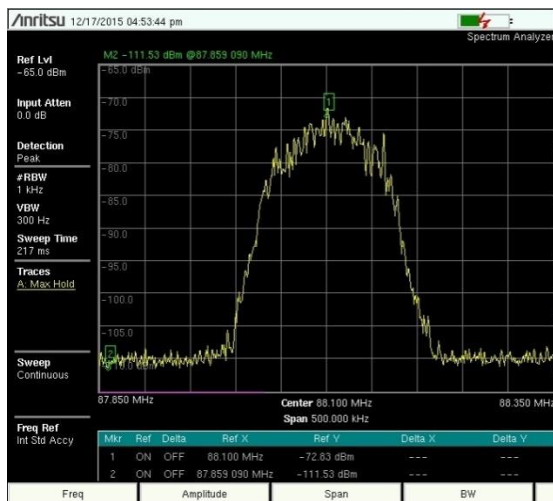
Sub-banda 93 a 98 MHz



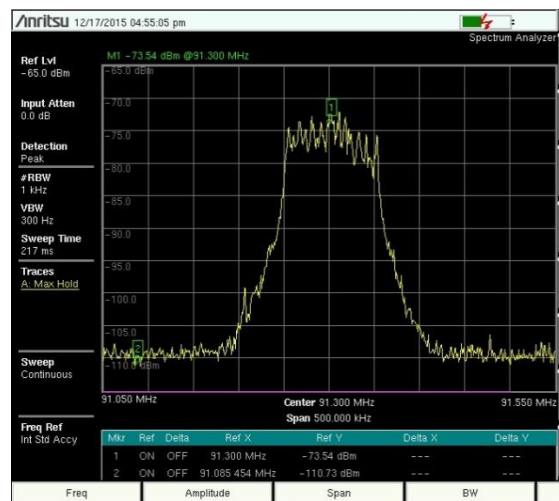
Sub-banda de 98 a 103 MHz



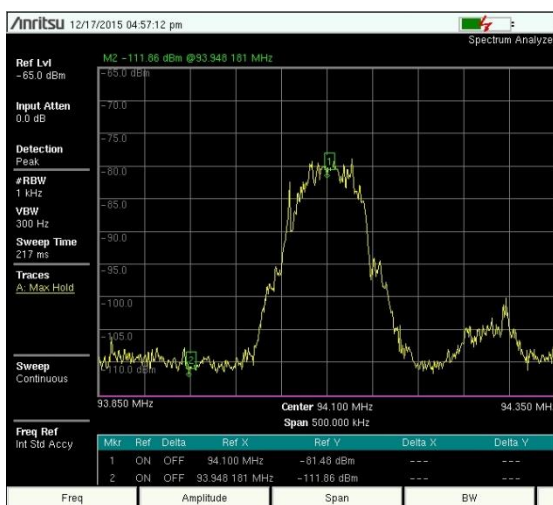
Sub-banda de 103 a 108 MHz



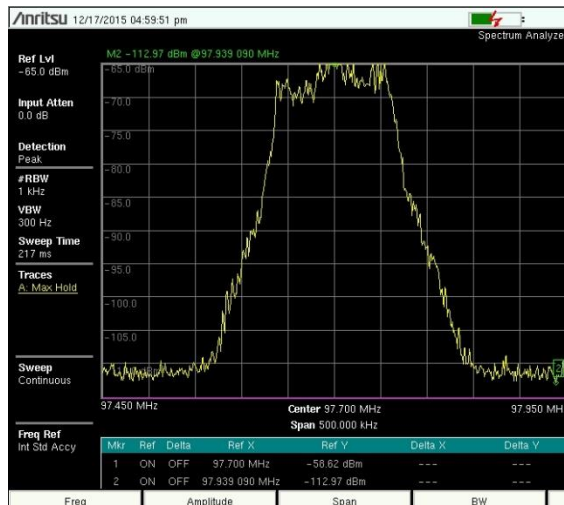
88.1 MHz



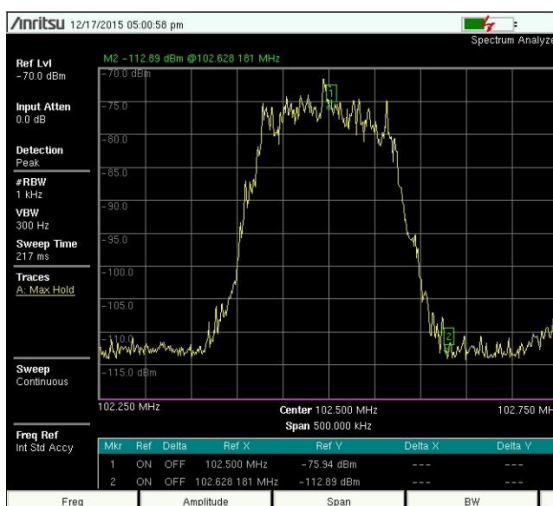
91.3 MHz



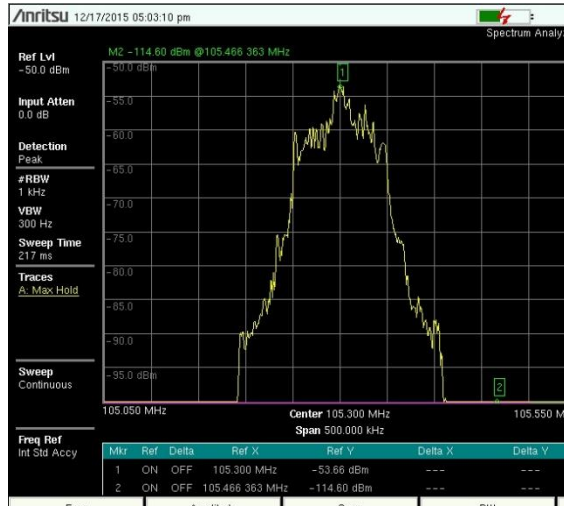
94.1 MHz



97.7 MHz



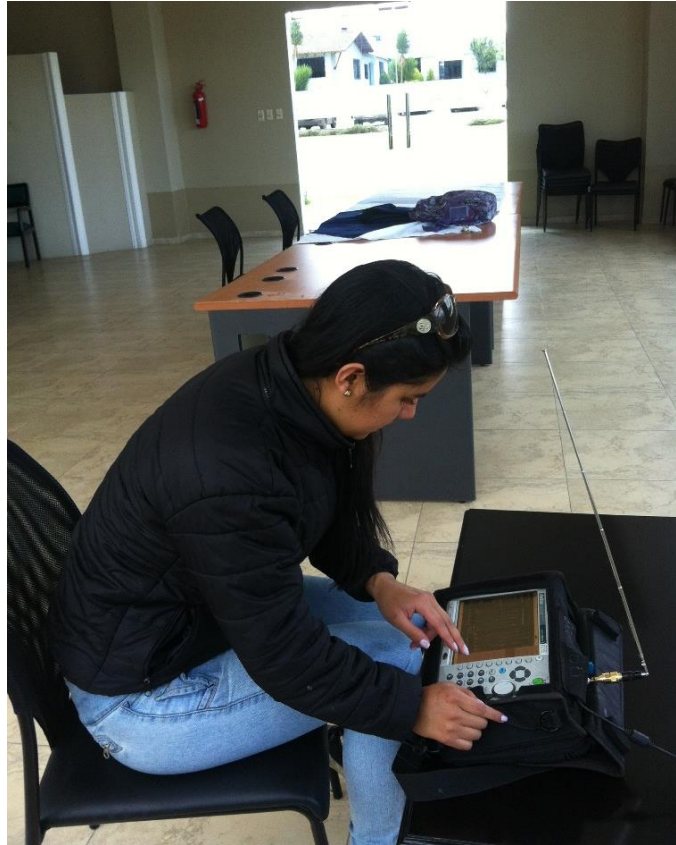
102.5 MHz



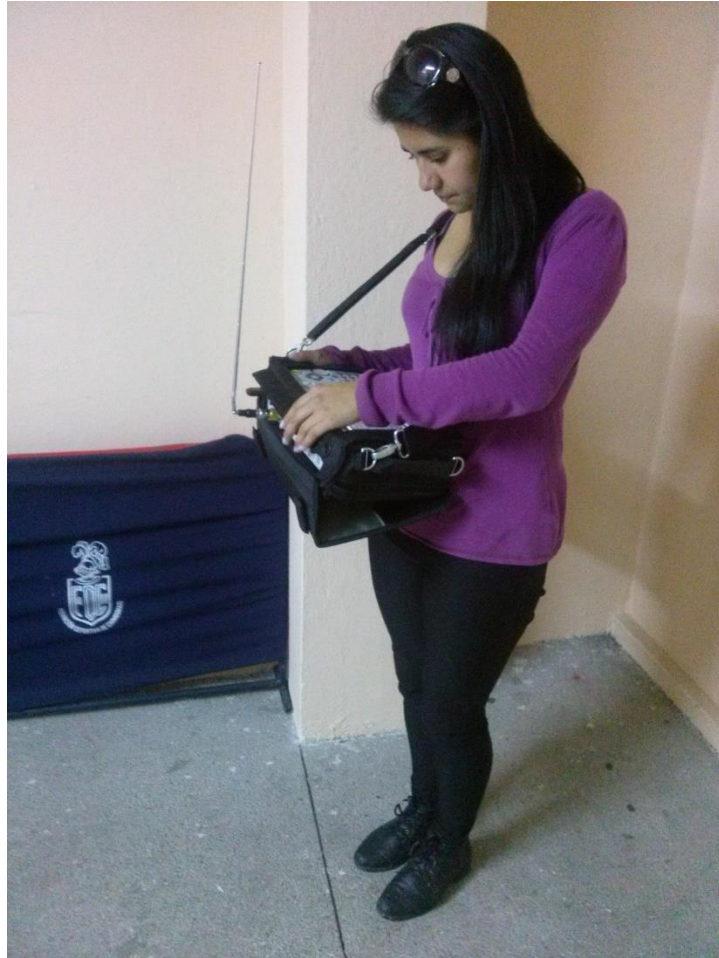
105.3 MHz

ANEXO B. Fotografías realizando las mediciones de potencia en las respectivas locaciones escogidas para la recolección de datos.

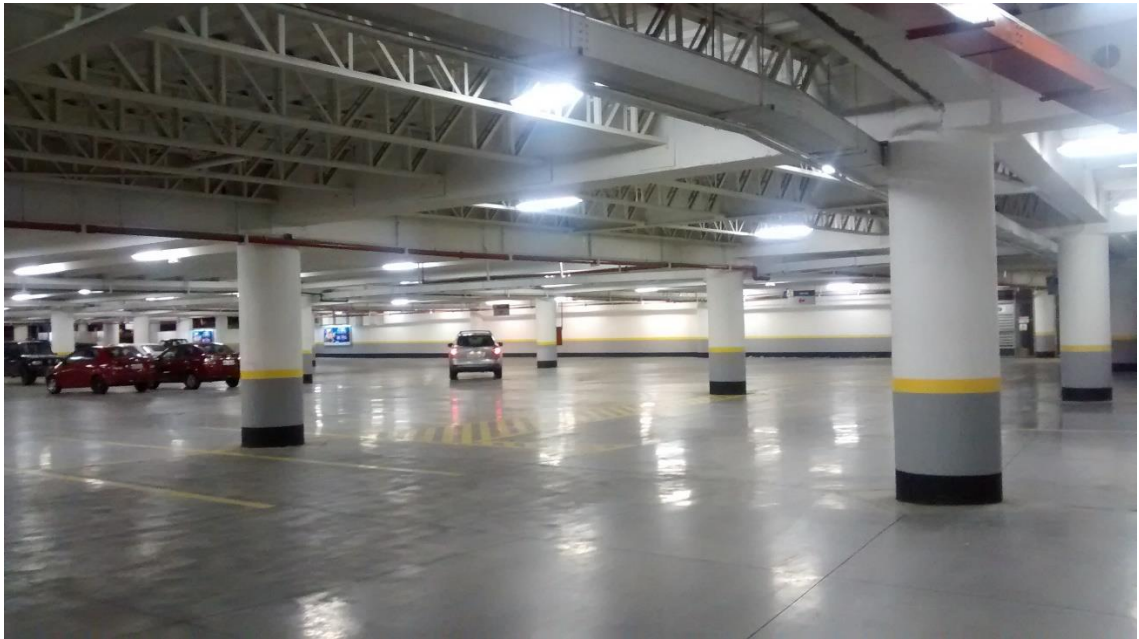
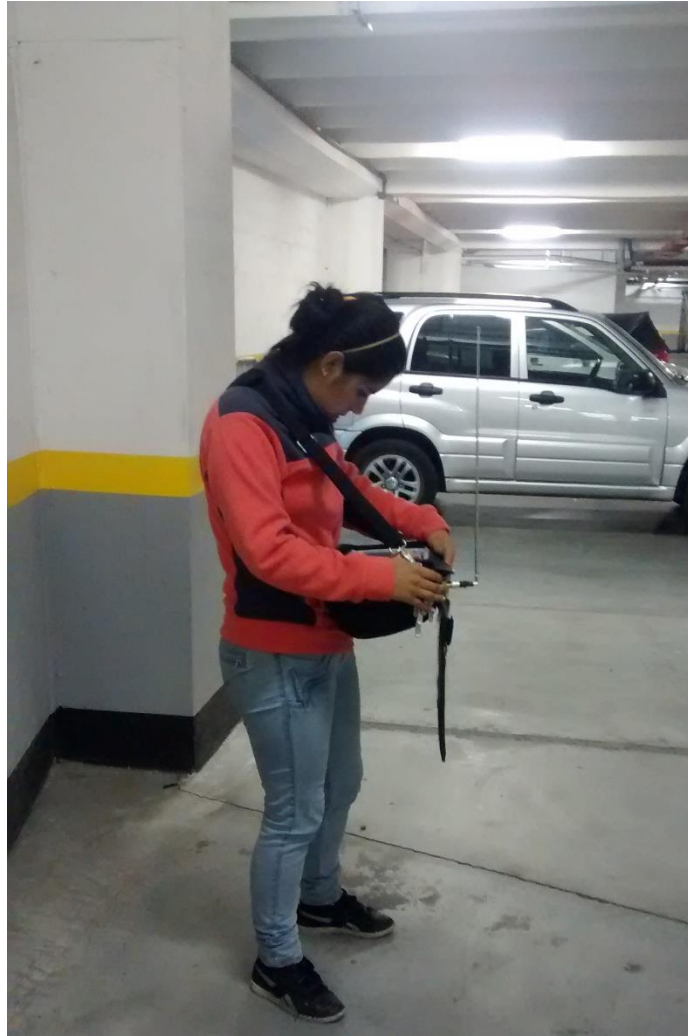
Salón de vidrio – ARCOTEL.



Edificación de Ladrillo – Federación Deportiva de Chimborazo.



Espacio Subterráneo – Multiplaza Riobamba.



ANEXO C. CÓDIGO DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE RADIOENLACES.

FORMULARIO 1

```
Imports System.Math
```

```
Public Class Form1
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
```

```
Dim Ptx, A, B, C, D, gan, F, G, FSL1, PER1, PIRE1, atcable, dbd, Prx, ganrx,  
lcablerx, atcablerx As Double
```

```
Ptx = TextBox1.Text 'Potencia del transmisor en watts
```

```
A = TextBox2.Text 'Ganancia del amplificador
```

```
B = TextBox3.Text 'Pérdidas del cable
```

```
C = TextBox4.Text 'Longitud del cable Tx
```

```
D = TextBox5.Text 'Pérdidas por conectores
```

```
gan = TextBox6.Text 'Ganancia de la antena Tx dbi
```

```
F = TextBox9.Text 'Distancia
```

```
G = TextBox10.Text 'Frecuencia
```

```
ganrx = TextBox28.Text 'Ganancia de la antena Rx dbi
```

```
lcablerx = TextBox30.Text 'Longitud del cable Rx
```

```
dbd = gan - 2.15 'Ganancia de la antena en dbd dbi=dbd-2.15
```

```
atcable = (B * C) / 100 'Atenuación del cable según la longitud
```

```
TextBox12.Text = atcable
```

```
atcablerx = (B * lcablerx) / 100
```

```
PIRE1 = Round((10 * Log10(Ptx) + 30) + A - atcable - D + gan, 4) 'De  
watts a dBm: 10LogX+30
```

```
TextBox7.Text = PIRE1
```

```
PER1 = Round((10 * Log10(Ptx) + 30) + A - atcable - D + dbd, 4)
```

```
TextBox8.Text = PER1
```

```
FSL1 = Round(32.4 + (20 * Log10(F)) + (20 * Log10(G)), 4)
```

```
TextBox11.Text = FSL1
```

```
Prx = Round(PIRE1 - FSL1 + ganrx - atcablerx, 4)
```

```
TextBox27.Text = Prx
```

```
EndSub
```

```
Private Sub ConversionesToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
Handles ConversionesToolStripMenuItem.Click
```

```
Form2.Show()
```

```
EndSub
```

```

PrivateSub EquivalenciaToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e AsEventArgs)
Form3.Show()
EndSub

```

```

PrivateSub Button3_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button3.Click
Dim margen, Srx, potrx, FSL2, PER2, pcablem, PIRE2, Ptx2, A2, B2, C2, D2, gan2,
F2, G2 AsDouble

```

```

Ptx2 = TextBox13.Text 'Potencia del Tx cerro

```

```

    A2 = TextBox14.Text 'Ganancia del ampli

```

```

    B2 = TextBox15.Text 'Pérdidas del cable x 100m

```

```

    C2 = TextBox16.Text 'Longitud del cable

```

```

    D2 = TextBox18.Text 'Pérdidas por conectores

```

```

    gan2 = TextBox19.Text 'Ganancia antena 3

```

```

    F2 = TextBox20.Text 'Distancia

```

```

    G2 = TextBox21.Text 'frecuencia

```

```

Srx = TextBox26.Text 'Sensibilidad Rx

```

```

pcablem = (B2 * C2) / 100

```

```

    TextBox17.Text = pcablem

```

```

    PIRE2 = Round((10 * Log10(Ptx2) + 30) - D2 + A2 - pcablem + gan2, 4)

```

```

TextBox22.Text = PIRE2

```

```

    PER2 = PIRE2 - 2.15

```

```

    TextBox23.Text = PER2

```

```

    FSL2 = Round(32.4 + 20 * Log10(F2) + 20 * Log10(G2), 4)

```

```

    TextBox24.Text = FSL2

```

```

potrx = Round((PIRE2 - FSL2), 4)

```

```

    TextBox25.Text = potrx

```

```

margen = potrx - Srx

```

```

    TextBox29.Text = margen

```

```

EndSub

```

```

PrivateSub Button2_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button2.Click

```

```

    TextBox1.Clear()

```

```

    TextBox2.Clear()

```

```

    TextBox3.Clear()

```

```

    TextBox4.Clear()

```

```

    TextBox5.Clear()

```

```

    TextBox6.Clear()

```

```

TextBox7.Clear()
TextBox8.Clear()
TextBox9.Clear()
TextBox10.Clear()
TextBox11.Clear()
TextBox12.Clear()
TextBox28.Clear()
TextBox27.Clear()
TextBox30.Clear()
EndSub

PrivateSub Button4_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button4.Click
TextBox13.Clear()
TextBox14.Clear()
TextBox15.Clear()
TextBox16.Clear()
TextBox17.Clear()
TextBox18.Clear()
TextBox19.Clear()
TextBox20.Clear()
TextBox21.Clear()
TextBox22.Clear()
TextBox23.Clear()
TextBox24.Clear()
TextBox25.Clear()
TextBox26.Clear()
TextBox29.Clear()
EndSub

PrivateSub RGToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
RGToolStripMenuItem.Click
Form5.Show()
EndSub

PrivateSub LMRToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
LMRToolStripMenuItem.Click
Form6.Show()
EndSub

PrivateSub TextBox1_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
TextBox1.KeyPress
If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
MessageBox.Show("Ingrese solamente números")

```

```

e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub

PrivateSub TextBox2_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox2.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub

PrivateSub TextBox3_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox3.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub

PrivateSub TextBox4_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox4.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")

```

```
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox5_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox5.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox6_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox6.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox10_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox10.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
```



```

e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub

```

```

PrivateSub TextBox9_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox9.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub

```

```

PrivateSub TextBox28_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox28.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub

```

```

PrivateSub TextBox27_KeyPress(sender As Object, e As KeyPressEventArgs) Handles
    TextBox27.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
    EndIf
EndSub

```

```
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox13_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox13.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox15_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox15.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox16_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox16.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
```

```
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox19_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox19.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox14_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox14.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox18_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox18.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
```

```
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox21_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox21.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox20_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox20.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox26_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox26.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
```

```
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox29_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox29.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox25_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox25.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub TextBox30_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox30.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
```

```

e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub

PrivateSub TransmisorFMToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e AsEventArgs)
    Handles TransmisorFMToolStripMenuItem.Click
    Form3.Show()
EndSub

PrivateSub Button5_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button5.Click
    Form7.Show()
EndSub

PrivateSub HELIAXToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
    HELIAXToolStripMenuItem.Click
    Form8.Show()
EndSub

PrivateSub PolarizaciónCircularToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e
    AsEventArgs) Handles PolarizaciónCircularToolStripMenuItem.Click
    Form9.Show()
EndSub

PrivateSub ReceptoresFMToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e AsEventArgs)
    Handles ReceptoresFMToolStripMenuItem.Click
    Form4.Show()
EndSub

PrivateSub TextBox1_TextChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
    TextBox1.TextChanged

EndSub

PrivateSub FlexlineToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e AsEventArgs)
    Handles FlexlineToolStripMenuItem.Click
    Form11.Show()
EndSub

```

```

PrivateSub PérdidasDeInserciónToolStripMenuItem_Click(sender AsObject, e
AsEventArgs) Handles PérdidasDeInserciónToolStripMenuItem.Click
Form10.Show()
EndSub

EndClass

```

FORMULARIO 2

```

Imports System.Math
PublicClassForm2
PrivateSub Button1_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button1.Click
Dim V, mw, dbm, dbw AsSingle
    V = TextBox1.Text 'dBW+30=dBm

If ComboBox1.SelectedItem = "mW"Then
mw = V / 1000
    TextBox2.Text = mw
EndIf
If ComboBox1.SelectedItem = "dBm"Then
dbm = 10 ^ ((V - 30) / 10)
    TextBox2.Text = dbm
EndIf
If ComboBox1.SelectedItem = "dBW"Then
dbw = 10 ^ ((V) / 10)
    TextBox2.Text = dbw
EndIf
EndSub

PrivateSub Button2_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button2.Click
TextBox1.Clear()
TextBox2.Clear()
ComboBox1.ResetText()
EndSub

PrivateSub Button3_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button3.Click
Dim C, dbi, dbd AsDouble
    C = TextBox3.Text 'dbi=dbd-2.15

If ComboBox2.SelectedItem = "dBi"Then
dbi = C - 2.15
    TextBox4.Text = dbi

```

```

        Label16.Text = "dBd"
    EndIf
    If ComboBox2.SelectedItem = "dBd" Then
        dbd = C + 2.15
        TextBox4.Text = dbd
        Label16.Text = "dBi"
    EndIf
EndSub

PrivateSub Button4_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button4.Click
    TextBox3.Clear()
    TextBox4.Clear()
    Label16.Text = " "
    ComboBox2.ResetText()
EndSub

PrivateSub Button5_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button5.Click
    Form1.Show()
    Me.Close()
EndSub

PrivateSub TextBox1_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox1.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingreso solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingreso solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingreso solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf
EndSub

PrivateSub TextBox3_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox3.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingreso solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingreso solamente números")

```



```

e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
    MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub

EndClass

```

FORMULARIO 3

```

PublicClass Form3

    PrivateSub RadioButton1_CheckedChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
        RadioButton1.CheckedChanged
        If RadioButton1.Checked = True Then
            Dim a1 As String
                a1 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx10.txt")
                TextBox1.Text = a1
                PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
            EndIf
        EndSub

        PrivateSub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs)
            'TextBox1.Clear()
            'PictureBox1.Hide()
            'RadioButton1.Checked = False
            'RadioButton2.Checked = False
            'RadioButton3.Checked = False
            'RadioButton4.Checked = False
            'RadioButton5.Checked = False
            'RadioButton6.Checked = False
            'RadioButton7.Checked = False
            'RadioButton8.Checked = False
            'RadioButton9.Checked = False
        EndSub

        PrivateSub RadioButton2_CheckedChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles
            RadioButton2.CheckedChanged
            If RadioButton2.Checked = True Then
                Dim a2 As String
                    a2 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx25.txt")
                    TextBox1.Text = a2
                EndSub
            EndSub

```

```

        PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
    EndIf
EndSub

PrivateSub RadioButton3_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
RadioButton3.CheckedChanged
    If RadioButton3.Checked = TrueThen
        Dim a3 AsString
        a3 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx50.txt")
        TextBox1.Text = a3
        PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
    EndIf
EndSub

PrivateSub RadioButton4_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
RadioButton4.CheckedChanged
    If RadioButton4.Checked = TrueThen
        Dim a4 AsString
        a4 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx100.txt")
        TextBox1.Text = a4
        PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
    EndIf
EndSub

PrivateSub RadioButton5_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
RadioButton5.CheckedChanged
    If RadioButton5.Checked = TrueThen
        Dim a5 AsString
        a5 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx150.txt")
        TextBox1.Text = a5
        PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
    EndIf
EndSub

PrivateSub RadioButton6_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles
RadioButton6.CheckedChanged
    If RadioButton6.Checked = TrueThen
        Dim a6 AsString
        a6 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx250.txt")
        TextBox1.Text = a6
        PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
    EndIf
EndSub

```

EndSub

```
PrivateSub RadioButton7_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles  
RadioButton7.CheckedChanged
```

```
If RadioButton7.Checked = TrueThen
```

```
Dim a7 AsString
```

```
    a7 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx350.txt")
```

```
    TextBox1.Text = a7
```

```
    PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
```

```
EndIf
```

EndSub

```
PrivateSub RadioButton8_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles  
RadioButton8.CheckedChanged
```

```
If RadioButton8.Checked = TrueThen
```

```
Dim a8 AsString
```

```
    a8 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx500.txt")
```

```
    TextBox1.Text = a8
```

```
    PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
```

```
EndIf
```

EndSub

```
PrivateSub RadioButton9_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles  
RadioButton9.CheckedChanged
```

```
If RadioButton9.Checked = TrueThen
```

```
Dim a9 AsString
```

```
    a9 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx1000.txt")
```

```
    TextBox1.Text = a9
```

```
    PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx1000.jpg")
```

```
EndIf
```

EndSub

```
PrivateSub RadioButton10_CheckedChanged(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles  
RadioButton10.CheckedChanged
```

```
If RadioButton10.Checked = TrueThen
```

```
Dim a10 AsString
```

```
    a10 = My.Computer.FileSystem.ReadAllText("tx300.txt")
```

```
    TextBox1.Text = a10
```

```
    PictureBox1.Image = Image.FromFile("tx10.jpg")
```

```
EndIf
```

EndSub

```
PrivateSub Button1_Click_1(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button1.Click
```

```
Form1.Show()  
Me.Close()  
EndSub
```

```
EndClass
```

FORMULARIO 4

```
PublicClassForm4
```

```
PrivateSub LinkLabel1_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\caracteristicas1.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel2_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel2.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\caracteristicas2.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub  
EndClass
```

FORMULARIO 5

```
Imports System.IO.Path  
PublicClassForm5
```

```
PrivateSub LinkLabel1_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\rg58.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel2_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel2.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\rg6.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel3_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel3.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\rg11.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub
```

```
EndClass
```

FORMULARIO 6

PublicClassForm6

```
PrivateSub LinkLabel1_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\lmr400.pdf", vbNormalFocus)
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel2_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel2.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\lmr200.pdf", vbNormalFocus)
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel3_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel3.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\lmr600.pdf", vbNormalFocus)
EndSub
```

EndClass

FORMULARIO 7

PublicClassForm7

```
PrivateSub TextBox1_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
TextBox1.KeyPress
If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
e.Handled = True
EndIf
EndSub
```

```
PrivateSub Button1_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button1.Click
Dim atbloque, atvidrio, atmixta, atladrillo, atsubterraneo, los, rmixta, rbloque,
rladrillo, rvidrio, rsub, potencia AsDouble
```

```

Dim ruido, srlos, srbloque, srvidrio, srmixta, srladrillo, srsub AsDouble
ruido = TextBox1.Text
atbloque = 10.79
atvid()
rio = 5.42
atmixta = 8.26
atladrillo = 12.41
atsubterraneo = 41.49
potencia = Form1.TextBox25.Text
los = potencia
rmixta = potencia - atmixta
rbloque = potencia - atbloque
rladrillo = potencia - atladrillo
rvidrio = potencia - atvidrio
rsub = potencia - atsubterraneo
'RESULTADOS
    TextBox2.Text = los
    TextBox3.Text = rmixta
    TextBox4.Text = rbloque
    TextBox5.Text = rladrillo
    TextBox6.Text = rvidrio
    TextBox7.Text = rsub
'SEÑAL A RUIDO
srlos = los - ruido
srbloque = rbloque - ruido
srvidrio = rvidrio - ruido
srmixta = rmixta - ruido
srladrillo = rladrillo - ruido
srsub = rsub - ruido
'RESULTADOS
    TextBox8.Text = srsub
    TextBox9.Text = srvidrio
    TextBox10.Text = srladrillo
    TextBox11.Text = srbloque
TextBox12.Text = srmixta
    TextBox13.Text = srlos
EndSub

EndClass

```

FORMULARIO 8

```
PublicClassForm8
```

```

PrivateSub LinkLabel1_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\ldf550a.pdf", vbNormalFocus)
EndSub

PrivateSub LinkLabel2_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel2.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\ldf450a.pdf", vbNormalFocus)
EndSub

PrivateSub Button1_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button1.Click
Me.Close()
Form1.Show()
EndSub

PrivateSub TextBox1_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
TextBox1.KeyPress
If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Or (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Or
(Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Or (Char.IsControl(e.KeyChar)) Then
MessageBox.Show("No se puede modificar")
e.Handled = True
EndIf

EndSub

EndClass

```

FORMULARIO 9

```

PublicClassForm9

PrivateSub LinkLabel1_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\MP1.pdf", vbNormalFocus)
EndSub

PrivateSub LinkLabel2_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel2.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\GP1.pdf", vbNormalFocus)
EndSub

```

```
PrivateSub LinkLabel3_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel3.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\SGP1.pdf", vbNormalFocus)
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel4_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel4.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\mp1rad.png", vbNormalFocus)
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel5_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel5.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\gp1rad.png", vbNormalFocus)
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel6_LinkClicked(sender AsObject, e
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel6.LinkClicked
Shell("explorer.exe D:\sgp1rad.png", vbNormalFocus)
EndSub
```

```
EndClass
```

FORMULARIO 10

```
Imports System.Math
PublicClassForm10
PrivateSub Button1_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button1.Click
Dim bloque, mixta, vidrio, ladrillo, subterraneo, f AsDouble
f = TextBox1.Text
bloque = Round((10.85223 - (0.10118 * f)) / ((1 - (0.00534175 * f) -
(0.0000387933 * (f * f)))), 4)
mixta = Round(9.62901 + 6.39798 * Cos(0.44656 * f - 0.13406), 4)
vidrio = Round((0.199768 - 0.00183306 * f) / (1 - (0.0194649 * f) + (0.0000965892
* f ^ 2)), 4)
ladrillo = Round(9.46886 + 1.20407 * Cos(1.34792 * f - 5.06741), 4)
subterraneo = Round((287287000 - (2986350 * f)) / (1 - (72517.1 * f) - (751.303 *
f * f)), 4)
'If ComboBox1.SelectedItem = False Then
'MessageBox.Show("Seleccione el material de construcción")
'End If
SelectCase ComboBox1.SelectedIndex
Case 0
TextBox2.Text() = bloque
```



```

Case 1
    TextBox2.Text = mixta

Case 2
    TextBox2.Text = ladrillo

Case 3
    TextBox2.Text = subterraneo

Case 4
    TextBox2.Text = vidrio

EndSelect
'End If
EndSub

PrivateSub TextBox1_KeyPress(sender AsObject, e AsKeyPressEventArgs) Handles
    TextBox1.KeyPress
    If (Char.IsLetter(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsWhiteSpace(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    ElseIf (Char.IsSymbol(e.KeyChar)) Then
        MessageBox.Show("Ingrese solamente números")
        e.Handled = True
    EndIf

EndSub

PrivateSub Button2_Click(sender AsObject, e AsEventArgs) Handles Button2.Click
    SelectCase ComboBox1.SelectedIndex
    Case 0
        Foto.Image = Image.FromFile("bloque.png")

    Case 1
        Foto.Image = Image.FromFile("mixta.png")

    Case 2
        Foto.Image = Image.FromFile("ladrillo.png")

    Case 3
        Foto.Image = Image.FromFile("subterraneo.png")

    Case 4
        Foto.Image = Image.FromFile("vidrio.png")

    EndSelect
EndSub

```

EndClass

FORMULARIO 11

PublicClassForm11

```
PrivateSub LinkLabel1_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\flexline12.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel2_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel2.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\flexline14.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub
```

```
PrivateSub LinkLabel3_LinkClicked(sender AsObject, e  
AsLinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel3.LinkClicked  
Shell("explorer.exe D:\flexline78.pdf", vbNormalFocus)  
EndSub  
EndClass
```